



**Landesamt für Bergbau,
Energie und Geologie**

Der Präsident

Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
Postfach 51 01 53, 30631 Hannover

Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE)
Eschenstraße 55
31224 Peine

nachrichtlich an: Nationales Begleitgremium
(NBG)

Bearbeitet von LBEG

Ihr Zeichen, Ihre Nachricht vom

Mein Zeichen (Bei Antwort angeben)

L3/L68032-01/2020-0016

Hannover

02.02.2021

E-Mail
poststelle@lbeg.niedersachsen.de

BGE-Zwischenbericht Teilgebiete (28.09.2020) Stellungnahme des Staatlichen Geologischen Dienstes von Niedersachsen

Sehr geehrter Herr Kanitz,

Die Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) hat nach §13 Standortauswahlgesetz am 28.9.2020 den Zwischenbericht Teilgebiete veröffentlicht. Im Auftrag des Niedersächsischen Ministeriums für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz hat das LBEG eine erste kursorische Bewertung des Zwischenberichts Teilgebiete vorgenommen. Die Bewertung wird dabei getragen von dem Ansinnen, die geowissenschaftliche Expertise des Landes Niedersachsen kritisch konstruktiv in den Prozess des Standortauswahlverfahrens einzubringen.

Gegenstand der Stellungnahme des LBEG ist zunächst die kritische Würdigung der Methodik zur Anwendung der Ausschlusskriterien, der Mindestanforderungen und der Geowissenschaftlichen Abwägungskriterien für Niedersachsen. Die Stellungnahme, die dementsprechend in drei Teilen aufgebaut ist (Anlage 1, 2 und 3) stellt hierbei einen ersten Zwischenstand der Bewertung dar und wird im Sinne eines „Living Paper“ fortgeschrieben. Eine vertiefte regionalgeologische Befassung mit den in Niedersachsen ausgewiesenen Teilgebieten wird erst in einem weiteren Schritt erfolgen.

Grundsätzlich ist zu würdigen, dass Sie mit dem Zwischenbericht und seinen untersetzenden Unterlagen eine umfängliche und in weiten Teilen ausführliche Dokumentation über die Ermittlung der Teilgebiete nach §13 StandAG vorgelegt haben. Die Unterlagen ermöglichen in weiten Teilen, die Entscheidungswege und Arbeitsschritte nachzuvollziehen und benennen die eingesetzten Datengrundlagen.

Dienstgebäude
GEOZENTRUM HANNOVER
Stilleweg 2
30655 Hannover
Verkehrsanbindung
Stadtbahnlinie 7 bis Pappelwiese

Telefon
0511 643-0
Telefax
0511 643-
E-Mail
Poststelle@lbeg.niedersachsen.de
Internet
<http://www.lbeg.niedersachsen.de>

Bankverbindung
Nord/LB
IBAN: DE 84 2505 0000 0106 0223 95
SWIFT-BIC: NOLA DE 2H XXX

Steuernummer
Steuernummer beim Finanzamt Hannover Nord:
25/202/29467
USt. – ID- Nummer:
DE 811289769
Leitweg-ID:
03-0253000000-19

Erschwert wird die Nachvollziehbarkeit (im Sinne der Rückverfolgbarkeit der Entscheidungswege und der Dokumentation) mit zunehmender Vertiefung der Anwendung der Kriterien (Ausschlusskriterien → Mindestanforderungen → Abwägungskriterien) durch die vielfachen Verweise auf untersetzende Unterlagen, die in der weiteren Bewertung zu sehr komplexen und aufwändigen Bearbeitungsschritten führen. Insbesondere zu den Mindestanforderungen (Anlage 2) und den Abwägungskriterien (Anlage 3) kann das LBEG aufgrund der hohen und ausgeprägten Komplexität der Fragestellungen und der Vielzahl der untersetzenden Unterlagen derzeit noch nicht umfassend und vollständig Stellung nehmen. Dementsprechend steht in vielen Bereichen auch eine abschließende Bewertung des von der BGE gewählten Vorgehens, über die eigentliche Nachvollziehbarkeit der einzelnen Arbeitsschritte hinaus, noch aus. Dies wird in den nächsten Wochen und Monaten zunehmend erfolgen.

Das LBEG leistet damit bereits jetzt einen konstruktiven Beitrag für die Diskussion der geowissenschaftlichen Fragestellungen im Standortauswahlverfahren in Niedersachsen und steht für einen wissenschaftlichen Diskurs im Sinne eines lernenden Verfahrens zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen



Anlagen

Anlage 1: Stellungnahme (Bearbeitungsstand 25.01.2021) - Methodik zur Anwendung der Ausschlusskriterien im „BGE-Zwischenbericht Teilgebiete“ (BGE 28.09.2020)

Erste überschlägige Bewertung der Methodik zur Anwendung der Ausschlusskriterien „Großräumige Vertikalbewegungen“, „Aktive Störungszonen“, „Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit“, „Seismische Aktivität“ und „Vulkanische Aktivität“.

Anlage 2: Stellungnahme (Bearbeitungsstand 25.01.2021) - Methodik zur Anwendung der Mindestanforderungen im „BGE-Zwischenbericht Teilgebiete“ (BGE 28.09.2020)

Erste überschlägige Bewertung folgender Punkte:

- Anwendung der Datengrundlagen
- Größe der Gebiete mit erfüllten Mindestanforderungen
- Anwendung der Mindestanforderungen – Wirtsgestein Steinsalz
- Anmerkungen zur Methodik der Anwendung der Mindestanforderung „Gebirgsdurchlässigkeit“

Anlage 3: Stellungnahme (Bearbeitungsstand 25.01.2021) - Methodik zur Anwendung der Abwägungskriterien im „BGE-Zwischenbericht Teilgebiete“ (BGE 28.09.2020)

Erste überschlägige Bewertung folgender Anlagen zu § 24 Absatz 3 StandAG (die hier gelisteten Anlagen nach §24 sind noch nicht abschließend bearbeitet und werden weiter fortgeschrieben):

- Zu Anlage 1 (zu § 24 Absatz 3): Kriterium zur Bewertung des Transportes radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich
- Zu Anlage 5 (zu § 24 Absatz 4): Kriterium zur Bewertung der günstigen gebirgsmechanischen Eigenschaften
- Zu Anlage 7 (zu § 24 Absatz 5): Kriterium zur Bewertung der Gasbildung
- Zu Anlage 9 (zu § 24 Absatz 5): Kriterium zur Bewertung des Rückhaltevermögens im einschlusswirksamen Gebirgsbereich
- Zu Anlage 10 (zu § 24 Absatz 5): Kriterium zur Bewertung der hydrochemischen Verhältnisse
- Zu Anlage 11 (zu § 24 Absatz 5): Kriterium zur Bewertung des Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge

Anlage 1

Stellungnahme

Bearbeitungsstand 01.02.2021

Methodik zur Anwendung der Ausschlusskriterien im „BGE-Zwischenbericht Teilgebiete“ (BGE 28.09.2020)

Anlass

Die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) hat am 28.09.2020 den „Zwischenbericht Teilgebiete“ gemäß § 13 Abs. 2 S. 3 StandAG veröffentlicht.

Gegenstand dieser Stellungnahme ist eine kritische Würdigung der Methodik zur Anwendung der Ausschlusskriterien für Niedersachsen.

Diese Stellungnahme stellt eine erste Bewertung dar und wird fortgeschrieben.

Ergebnis der ersten überschlägigen Prüfung/Bewertung

Datengrundlagen

Die Beschreibung der Datenabfragen und –aufbereitung sowie deren Dokumentation erscheint nach der ersten Sichtung nachvollziehbar.

Der Verfahrensgrundsatz der BGE, „ausgeschlossene Gebiete im Zweifel flächenhaft eher zu unter- als zu überschätzen“ ist in dieser frühen Phase des Verfahrens grundsätzlich nachvollziehbar, da man erwartet, dass sich bei erneuter Anwendung der Ausschlusskriterien in jeder Phase des Standortauswahlverfahrens die ausgeschlossenen Gebiete im Laufe des Verfahrens mit steigendem Kenntnisstand vergrößern können.

Ausschlusskriterium „Großräumige Vertikalbewegungen“

Die Ausführungen erscheinen für Niedersachsen nach der ersten Sichtung nachvollziehbar.

Ausschlusskriterium „Aktive Störungszonen“

Tektonische Störungszonen

Die Anwendungsmethodik der BGE beruht auf der Bewertung und ggf. Übernahme von Vorschlägen Dritter (z. B. den Geologischen Diensten) zur Aktivität von Störungen, auf der Einstufung von Störungslinien als aktiv, die geologische Einheiten mit einem Maximalalter von 34 Ma Jahren versetzen und auf der Einstufung von Störungen als aktiv, die in einer „tektonisch aktiven Großstruktur“ liegen. Weiterhin wird das Ausschlusskriterium „Aktive

Störungen“ mit pauschalem Ausschlussbereich angewendet. Diese Vorgehensweise ist aus Sicht des LBEG für die erste Phase der Standortauswahl nachvollziehbar. Bezogen auf den Einzelfall, d.h. auf individuelle Störungen in Niedersachsen und deren Bewertung durch die BGE, ist die Vorgehensweise im Zwischenbericht Teilgebiete und den untersetzenden Unterlagen jedoch nicht ausreichend erläutert, um die Plausibilität abschließend bewerten zu können. Für den weiteren Verfahrensablauf sollten die konkrete Empfehlungen im fachlichen Positionspapier der Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) vom 07.10.2020 berücksichtigt werden:

https://www.infogeo.de/Infogeo/DE/Downloads/2020_10_07_ausschlusskriterium_aktive_s_toerungszonen.html

Insbesondere wird für den weiteren Verfahrensablauf eine Einzelfallbetrachtung der Störungen und eine auf Auswertungen und fachlichen Kriterien basierende, standortspezifische Bemessung des Sicherheitsabstandes für erforderlich gehalten. Dabei ist davon auszugehen, dass Störungen unter der weiträumigen quartären Überdeckung Niedersachsens, die aus anderen Quellen als den von der BGE bisher verwendeten Unterlagen bekannt sind oder ermittelt werden können, nicht erfasst wurden. Aus dem Zwischenbericht Teilgebiete und den untersetzenden Unterlagen ist allerdings nicht eindeutig nachvollziehbar, welche der der BGE vorliegenden Informationen für die Bewertung der einzelnen Störungen und deren Aktivität in Niedersachsen herangezogen wurden. Im weiteren Verfahren sollten alle verfügbaren Informationen, sowohl digital wie auch analoger Art, verwendet werden, beispielsweise auch großmaßstäbliche geologische Karten, die verfügbare Seismik, sowie Ergebnisse aus wissenschaftlichen Untersuchungen (soweit nicht bereits berücksichtigt). Für die Bewertung der nachweisbaren oder wahrscheinlichen Aktivität einer Störung in den letzten 34 Ma sollten außerdem alle aus fachlicher Sicht relevanten Aspekte, beispielsweise die im fachlichen Positionspapier der SGD näher ausgeführten Bewertungskriterien, für individuelle Störungen berücksichtigt werden.

Ergänzende Anmerkungen zu /U2/:

Zu Kap. 7.3 (Datengrundlage und Datenaufbereitung):

Tabelle 4 enthält eine Auflistung der Datengrundlagen für jedes Bundesland. Für Niedersachsen werden in Tabelle 4 der GTA 3D und die Strukturkarten des GTA nicht erwähnt, obwohl offensichtlich Störungen mit Raumlagen aus 3D-Modellen abgeleitet wurden.

Zu Kap. 7.4.2.: Zu 2.) Ausweisung von aktiven Störungen in geologischen Einheiten jünger 34 Millionen Jahre:

Ziel war es Störungen auf Basis einer bundesweit einheitlichen Datengrundlage zu identifizieren und damit die regionalen Datensätze zu ergänzen. Als Datengrundlage diente daher die Geologische Übersichtskarte Deutschlands im Maßstab 1:250 000 (GÜK250).

Hierbei ist zu beachten, dass die Geologische Übersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:250 000 (GÜK250) „nur“ die oberflächennahe Geologie von Deutschland abbildet. Generell bezieht sich der Begriff „oberflächennahe Geologie“ auf geologische Bildungen bis zur einer Tiefe von 2 m, welches besonderes für Norddeutschland und insbesondere für Niedersachsen zutrifft.

Die Ausweisung aktiver Störungszonen erfolgte durch die Verschneidung von Störungsspuren mit geologischen Einheiten, die ein Alter von 34 Millionen Jahren oder jünger aufweisen. „Vermutete“ Störungen wurden nicht berücksichtigt. Es wurde eine automatisierte Verschneidung in ArcGIS durchgeführt, danach Qualitätsprüfung, es wurden nur Störungssegmente verwendet, die post-eozäne Schichten durchziehen oder begrenzen. Um sinnvolle Ergebnisse zu erzielen erfolgte eine „manuelle“ Vervollständigung der Aktivitätsbewertung. Zu Abbildung 6 (schematische geologische Karte): Bei Störungen in präoligozänen Schichten konnte eine Aktivität nicht bestimmt werden.

Anmerkungen: Die Methode ist einerseits plausibel, da kartierte Störungsspuren, die junge Schichten durchziehen, genutzt werden. So werden mit einer brauchbaren Annäherung die aktiven Störungen ermittelt. Es ist aber andererseits nicht klar, welche Dokumente (Karten) zur Bewertung von speziellen Störungen genutzt worden sind (Welche Karte? Welches Modell? Welche Literatur?). Die Vorgehensweise wird zwar generell erläutert, kann aber wegen der vielen Variablen nicht nachvollzogen werden, da es bei der Ausweisung von aktiven Störungen sehr große, geowissenschaftliche Ermessensspielräume (z. B. „manuelle Vervollständigung“) gibt.

Zu Kap. 7.4.1: zu 3.) Ausweisung aktiver Störungszonen in tektonisch aktiven Großstrukturen

Hiervon ist Niedersachsen nicht betroffen.

Zu Kap. 7.5 Ergebnisse:

Von den bundesweit ca. 600.000 Störungssegmenten, die die BGE im Rahmen der Datenabfrage zum Ausschlusskriterium „aktive Störungszonen – tektonische Störungszonen“ erhalten und ausgewertet hat, konnten bei 30.780 Störungssegmenten Bewegungen seit dem Rupel identifiziert werden Diese werden als Übersichtskarte in Abbildung 17 dargestellt.

Anmerkungen: Niedersachsen hat bei seiner Datenlieferung an die BGE keine aktiven Störungszonen benannt. Das LBEG hat dazu in seiner Datenlieferung an die BGE vom

29.01.2019 vermerkt:

„An die BGE wird der Datensatz „Geotektonischer Atlas 3D (GTA-3D)“ übergeben (Ordner BGE-GTA3D, inklusive Dokumentation). In diesem Datensatz sind die im LBEG bekannten Informationen und Unterlagen zu Störungszonen eingearbeitet und können im räumlichen und fachlichen Kontext ausgewertet werden.“

„Eine nach Störungsalter gezielte Differenzierung, insbesondere nach Störungszonen, die in den letzten 34 Millionen Jahren aktiv waren, liegt dem LBEG nicht vor. Weitere Informationen zu Störungen befinden sich in der Geologischen Karte 1:50.000 (GK50), die jedoch auch nicht nach Störungsalter differenziert sind. Der Datensatz (GK50) kann, sofern gewünscht, zusätzlich bereitgestellt werden (Anm.: der Datensatz wurde nachgeliefert).

Ob in den im LBEG zusätzlich vorhandenen räumlich oder regional begrenzten geologischen 3D-Modellen nutzbare Hinweise/Darstellungen über aktive Störungen jünger als Unter-Oligozän auftreten, ist nicht spezifisch ausgewertet worden. “

Im Zwischenbericht sind für Niedersachsen zahlreiche aktive Störungen sowohl im Flachland als auch im Bergland identifiziert worden. Die Nachvollziehbarkeit ist im Einzelfall nicht möglich, die Dokumentation ist z.T. für die vielen als aktiv identifizierten Störungen in Niedersachsen nicht schlüssig. Anscheinend ist ein Großteil dieser Störungen den Strukturkarten von Baldschuh et al (2001) bzw. dem GTA3D entnommen, was aber in Tab. 4 nicht angegeben wird. Eine lokale Einzelprüfung ist mit den dargelegten Informationen nicht möglich.

Die Vollständigkeit, Richtigkeit und die annähernd exakte Lage von tektonisch aktiven Störungen/Störungszonen und der daraus abgeleiteten Ausschlussgebiete ist wegen vieler Variablen und Interpretationsmöglichkeiten prinzipiell mit großen Unsicherheiten behaftet. Dieses ist damit zu begründen, dass Störungen oftmals nicht erkennbar oder nur vermutet sind (wenn sie z.B. unter Bedeckung sind oder innerhalb einer Einheit liegen) und dass Versatzbeträge und die Zeiten ihrer Aktivität zumeist nur indirekt zu ermitteln sind. D.h. es ist prinzipiell mit weiteren, noch nicht kartierten Störungen aber auch möglicherweise mit einer überschätzten Anzahl an kartierten Störungen zu rechnen. Ebenso können sich durch weitere geologische Informationen die Lagen von Störungsverläufen verschieben. Die von der BGE benutzten Datengrundlagen (Karten usw.) können mit Fehlern behaftet sein, stellen aber gleichzeitig in dieser Phase die einzig verfügbare Datengrundlage dar.

Die von BGE angewendete Methodik ist für diese erste Phase der Standortauswahl vor allem eine schnelle und von Pragmatismus geleitete Methode, um die aktiven Störungen herauszufiltern. Jedoch werden damit viele prä-oligozän aktive Störungen nicht erfasst, wenn sie, wie z.B. in Niedersachsen der Fall, von jungen Sedimenten bedeckt sind.

Atektonische Störungszonen

Die Anwendungsmethoden sind grundsätzlich plausibel und nachzuvollziehen. Defizite bestehen derzeit bei der Dokumentation der Datenverarbeitung zur Ableitung der Ausschlussgebiete. Die stichprobenartige Prüfung der Datenlage kann aufgrund o.g. Defizite

zum derzeitigen Stand nicht abschließend vorgenommen werden. Die eindeutige und nachvollziehbare Dokumentation des Datenverarbeitungsprozesses wird – für den weiteren Verfahrensverlauf – aus Gründen der Transparenz für notwendig erachtet.

Methodisch wird in /U1/ und /U2/ ausschließlich die Verschneidung von Subrosionsstrukturen mit der Verbreitung der Zechstein-Salze beschrieben. Die Behandlung anderer sulfat-/salzführender Einheiten ist aus der Darstellung der Anwendungsmethode nicht zu entnehmen. Es ist nicht abschließend nachvollziehbar, wie mit sich überlagernden/tieferliegenden Subrosionshorizonten bei der Anwendung des Ausschlusskriteriums umgegangen wird.

Eine Nachschärfung der Anwendungsmethode im zukünftigen Standortauswahlverfahren ist, v.a. bei verbesserter (lokaler) Datenlage, gegebenenfalls erforderlich.

Die bei der Anwendungsmethode nicht berücksichtigten „oberflächennahen Strukturen“ (Teufe < 300 m) sollten im geowissenschaftlichen Abwägungskriterium 11 „Bewertung des Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge“ berücksichtigt werden, da sie das Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs möglicherweise im Hinblick auf Durchlässigkeit und Stabilität ungünstig beeinflussen.

Anmerkungen im Einzelnen:

Fachliche Bewertung

Gemäß §22 Abs. 2 Nr. 2 StandAG wird das Kriterium „Aktive Störungszonen“ als eines von sechs Kriterien zum Ausschluss von Gebieten herangezogen, die keine günstigen geologischen Voraussetzungen für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle erwarten lassen. Darunter fallen atektonische Vorgänge, „[...] die zu ähnlichen Konsequenzen für die Sicherheit eines Endlagers wie tektonische Störungen führen können [...]“ (siehe SSKA 2015¹, S. 12). Diese können zu bruchhaften Deformationen in endlagerrelevanten Tiefen führen, die Barrieremächtigkeit des Endlagersystems verringern oder die petrophysikalischen und hydraulischen Eigenschaften der geologischen Barriere beeinflussen – dazu zählen auch Setzungserscheinungen und Deformationen durch Senkungen oder Einstürze (Erdfälle) über Lösungshohlräumen in Karbonat-, Sulfat- und Chloridgesteinen, Suffosionsprozesse sowie Rutschungen. (vgl. /U3/, S. 62)

In Bezug auf die Mindestanforderung „minimale Teufe“ (§23 Abs. 5 Nr. 3 StandAG) sind v.a. atektonische Vorgänge von Bedeutung, die in über 300 m Teufe wirken (vgl. /U1/, S. 56). Rutschungen werden aufgrund ihrer geringen Einwirkungstiefe (wenige Dekameter) als den endlagerrelevanten Bereich potenziell nicht beeinflussend eingestuft (/U2/, S. 68).

¹ SSKA (2015): Grundlagen zur Beurteilung von Tiefenlagerprojekten im Hinblick auf Karstphänomene. Schweizerisches Institut für Speläologie und Karstforschung. – Auftraggeber: Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, 5200 Brugg: 45 S.

Diese Einordnung ist für die Rutschungen in Niedersachsen plausibel und nachzuvollziehen. Damit entfällt nachfolgend die Prüfung bzgl. gravitativer Massenbewegungen.

Subrosion oder Verkarstung ist als Ausschlusskriterium relevant, da sie „[...] *Zutrittsmöglichkeiten für Fluide schaffen und durch Verbruch von Lösungshohlräumen den endlagerrelevanten Bereich schädigen*“ (/U1/, S. 57) kann. Als wesentliche subrosions-/verkarstungsfähige Schichten im Hinblick auf Salzlaugung und Sulfatkarst gelten in Niedersachsen v.a. Zechstein, Oberer Buntsandstein, Muschelkalk und Oberjura. Karbonatkarst ist in Niedersachsen von untergeordneter Bedeutung und vorwiegend in devonischen, triassischen, jurassischen und kretazischen Karbonaten bekannt (/U2/, S. 70).

Es ist darauf hinzuweisen, dass in Niedersachsen Sulfate untergeordnet auch im Mittleren Keuper vorkommen. Deren Bedeutung für die Entstehung von z.B. Erdfällen ist allerdings unklar. Im zukünftigen Standortauswahlverfahren ist der Mittlere Keuper bei Anwendung des Ausschlusskriteriums einzubeziehen.

Datenaufbereitung und Anwendungsmethode

Nach dem Anwendungsprinzip gem. §22 Abs. 1 StandAG ist ein Gebiet auszuschließen, sobald eines der Ausschlusskriterien greift (/U1/, S. 45). Dabei folgt die BGE dem eigenen Verfahrensgrundsatz, Ausschlussgebiete durch die Anwendungsmethoden im Zweifel eher zu unterschätzen, da „*die Ausschlusskriterien in jeder Phase des Standortauswahlverfahrens erneut anzuwenden sind und sich ausgeschlossene Gebiete dadurch im Laufe des Verfahrens mit steigendem Kenntnisstand vergrößern können*“ (/U2/, S. 13).

Die o.g. Unterschätzung ist zum derzeitigen Erkundungsstand als nicht konservativ zu bewerten. Das Vorgehen ist jedoch nachzuvollziehen, vor dem Hintergrund, dass gem. StandAG erstens: keine Vorgaben bzgl. der Anwendung der Ausschlusskriterien gemacht werden, zweitens: ein einmal ausgeschlossenes Gebiet im weiteren Auswahlverfahren unberührt bleibt und drittens: die Ausschlusskriterien in jedem Verfahrensschritt erneut anzuwenden sind. Eine Anpassung und Konkretisierung der verwendeten Methoden im weiteren Standortauswahlverfahren (Erkundungsphasen) sollte unserer Meinung nach möglich sein und mit zunehmendem Erkenntnisgewinn durchgeführt werden.

Datenaufbereitung/-selektion

Für die Ableitung der Ausschlussgebiete wurden Daten der SGD zu atektonischen Vorgängen durch die BGE nach u.s. Anwendungsmethode ausgewertet. Vor allem Angaben zur Entstehungstiefe, zur Aktivität und zum Alter der Erdfälle sind von besonderem Interesse (vgl. /U1/, S. 57f). Für Niedersachsen handelt es sich dabei ausschließlich um Punktdaten zu Erdfällen – ca. 7836 (Stand 11/2020).

In Vorbereitung zur Ableitung der Ausschlussgebiete wurden Daten/Objekte aussortiert, die nur vermutete atektonische Vorgänge oder nicht überprüfte Angaben enthalten. Die

restlichen Daten wurden nach der Entstehungstiefe kategorisiert, um oberflächennahe Strukturen (Teufe < 300 m) von tieferliegenden Strukturen (Teufe > 300 m) zu unterscheiden, die den endlagerrelevanten Bereich beeinflussen. Oberflächennahe Strukturen wurden nachfolgend aussortiert.

Um fehlende Tiefenangaben bei Daten mit Entstehungshorizonten zu ergänzen, wurde zunächst überprüft, ob sich der angegebene Entstehungshorizont durch Nachweise in der Literatur belegen lässt. Die fehlenden Tiefeninformationen wurden durch eine Verschneidung (*Spatial Join*) mit Informationen aus 3D-Untergrundmodellen ergänzt (/U1/, S. 58; /U2/, S. 74). In Niedersachsen wurden hierzu der Geotektonische Atlas 3D (GTA3D) für flachlagernde Zechstein-Salze sowie InSpEE-Salzstruktur-Polygone (Niveauschnitte) für steil lagernde Zechsteinhorizonte verwendet. Als oberflächennah wurden Daten eingestuft, wenn das Top des Entstehungshorizontes nach GÜK250 an der Erdoberfläche lag.

Diese Vorselektion ist grundsätzlich nachzuvollziehen. Für die Angabe des wahrscheinlichen Entstehungshorizontes wird in Niedersachsen der höchstliegende Subrosionshorizont verwendet, da i.d.R. keine exakten geotechnischen Erkundungen zur Entstehungstiefe vorliegen. Methodisch wird in /U1/ und /U2/ ausschließlich die Verschneidung von Subrosionsstrukturen mit der Verbreitung der Zechstein-Salze beschrieben. Die Behandlung anderer sulfat-/salzführender Einheiten, v.a. Sulfate im Röt, Mittleren Muschelkalk, Mittleren Keuper und Münder Mergel und möglicherweise tieferliegender Subrosionshorizonte ist aus der Darstellung der Anwendungsmethode nicht zu entnehmen. Darüber hinaus ist darauf hinzuweisen, dass Tiefeninformationen aus dem GTA3D für Niedersachsen nicht flächendeckend vorliegen.

Die Bewertung, ob Salzstrukturen die Entstehungsursache nahegelegener Erdfälle sind, erfolgte über eine visuelle Clusterbildung. Von einem kausalen Zusammenhang wurde ausgegangen, wenn die Anordnung der Erdfälle räumlich dem Salzstock folgt.

Dieses Vorgehen ist nachvollziehbar, dennoch ist darauf hinzuweisen, dass v.a. die Subrosion der Sulfate im Hutgestein (Anhydrit/Gips) für die Entstehung der Erdfälle verantwortlich ist, die Subrosion am Salzspiegel nach unserem Verständnis vorwiegend weitgespannte Senkungen der Oberfläche verursacht.

Grundsätzlich ist es nachvollziehbar, die Datengüte durch Vorselektion und Informationsergänzung zu verbessern. Aufgrund der nicht eindeutigen Beschreibung des Vorgehens kann allerdings nicht abschließend bewertet werden, welche Datensätze nach welchem Schema ausgewertet wurden und für die nachfolgende Anwendungsmethode Verwendung fanden. Die eindeutige Dokumentation des Datenverarbeitungsprozesses wird – auch für den weiteren Verfahrensverlauf – aus Gründen der Transparenz für notwendig erachtet.

Anwendungsmethode

Bei der Karbonatverkarstung und der Ablaugung flachlagernder Salze kann die Lösung durch laterale Grundwasserströme im Hangenden und Liegenden sowohl vom Top als auch von der Basis des Entstehungshorizontes stattfinden, z.B. im Salzhangbereich. Bei Subrosionserscheinungen an Salzstöcken/-kissen findet die Lösung primär vom Top der Struktur statt, wobei Teufen von 200 - 500 m (bisweilen 1000 m) erreicht werden (/U2/, S. 69).

Der Ausschluss eines Gebiets erfolgt, wenn die Entstehungs-/Einwirkungstiefe atektonischer Vorgänge nach o.s. Datenaufbereitung in mehr als 300 m Teufe liegt, wie folgt (/U2/ S. 75):

1. *für sämtliche endlagerrelevanten Tiefen (300-1000m), wenn Verkarstungsstrukturen in Karbonaten oder Ablaugungsprozesse von flachlagernden Salzen vorliegen.*

Das Vorgehen ist plausibel und nachzuvollziehen. In den Ausführungen fehlt die Darstellung, wie mit den o.g. Subrosionshorizonten in Sulfaten nach dieser Methode umgegangen wird. Nach o.s. Beschreibung zur Datenauswertung ist derzeit davon auszugehen, dass tieferliegende, stratiforme Subrosionshorizonte bei diesem Vorgehen vernachlässigt werden.

2. *beim Vorkommen von Subrosionsstrukturen an Salzstöcken/-kissen bis zum Schichttop des Salzes, da die Lösung primär dort stattfindet.*

Das Vorgehen ist plausibel und nachzuvollziehen, dennoch ist darauf hinzuweisen, dass Subrosion am Salzspiegel, aber auch im Anhydrit/Gips des Hutgesteins stattfindet. Eine genauere Betrachtung dieser Prozesse sollte im geowissenschaftlichen Abwägungskriterium 11 bewertet werden.

3. *für epigenen Karst, bei dem die Subrosion/Verkarstung durch meteorisches Wasser vom Top beginnt (siehe SSKA 2015) und die genaue Lage innerhalb des Entstehungshorizontes unbekannt ist, wenn dessen Top tiefer als 300 m u. GOK liegt.*

Diese Auswahlmethode ist plausibel und nachzuvollziehen.

4. *für hypogenen Karst, bei dem die Lösung durch aufsteigendes Tiefenwasser initiiert wird (siehe SSKA 2015), in diesem Verfahrensschritt mangels Daten nicht.*

Das Vorgehen ist zu diesem Zeitpunkt des Verfahrens plausibel und nachzuvollziehen. Daten zur hypogenen Verkarstung sind für Niedersachsen derzeit nicht bekannt. Eine erneute Bewertung des Einflusses hypogener Verkarstung sollte ggf. im weiteren Auswahlverfahren anhand lokaler Gegebenheiten erfolgen².

² vgl. SSKA (2015): Grundlagen zur Beurteilung von Tiefenlagerprojekten im Hinblick auf Karstphänomene. Schweizerisches Institut für Speläologie und Karstforschung. – Auftraggeber: Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, 5200 Brugg: 45 S. und Stück et al. (2020): Standortauswahl – Ausschlusskriterium „Aktive Störungszonen“ – Abschlussbericht; Hannover (BGR). – 115 S., Hannover/Berlin. 04/2020).

Ausschlusskriterium „Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit“

Bohrungen

Die Anwendungsmethodik der BGE, gemäß der das Teil-Ausschlusskriterium Bohrungen in der ersten Phase der Standortauswahl mit pauschalem Ausschlussradius angewendet wird, ist angesichts der Vielzahl an Tiefbohrungen nachvollziehbar und erscheint aus Sicht des LBEG vorbehaltlich der Anwendung einer Einzelfallbetrachtung der Bohrungen und deren Nutzung im weiteren Verfahrensablauf aus fachlicher Sicht vertretbar. Für den weiteren Verfahrensablauf sind konkrete Empfehlungen zum Umgang mit

- a) unbekanntem oder nicht genau bekanntem Bohrfad,
- b) Lageungenauigkeiten von Bohrungen, sowie
- c) durchgeführten Operationen während der Bohrung und gegebenenfalls während der Nutzung der Bohrung in Verbindung mit den geologischen Verhältnissen

in dem fachlichen Positionspapier der Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) vom 07.10.2020 näher erläutert, das vom LBEG mitgetragen wird:

https://www.infogeo.de/Infogeo/DE/Downloads/2020_10_07_ausschlusskriterium_einfluesse_bergbaulicher_taetigkeit.html

Bergwerke

Die Ausführungen und Begründungen der BGE zum Ausschluss bestimmter Gebiete von der Suche eines Endlagers bezüglich altbergbaulicher Anlagen sind insgesamt nachvollziehbar und plausibel. Bei der Anwendung unterschiedlicher Berechnungsgrundlagen für bergwerksumhüllende Polygone bleiben allerdings Fragen offen:

Laut BGE werden Kavernenspeicher und sonstige unterirdische Hohlräume (alte Grubengebäude) bei der Auswahl eines Standortes ausgeschlossen, weil bei der Auffahrung die umhüllende Gesteinsformation instabil werden kann. Da bei vielen altbergbaulichen Standorten kein Einwirkungsbereich gemäß Einwirkungsbereichs-Bergverordnung ausgewiesen wurde, nutzt die BGE die maximale Teufe sowie laterale Ausdehnung des Grubengebäudes um mittels eines fixierten Grenzwinkels von $76,5^\circ$ einen „Pseudo“-Einwirkungsbereich für jedes Bergwerk festzulegen. Hierdurch könnte sich die Gefahr ergeben, dass bei Bergwerken mit geringer maximaler Teufe der „Pseudo“-Einwirkungsbereich sehr niedrig bemessen wird und stark vom realen mittels tatsächlichem Grenzwinkel zu berechnenden Einwirkungsbereich abweicht. So würde z.B. eine maximale Teufe von 900m zu einem Einwirkungsbereich von ca. 210 m führen aber bei einer maximalen Teufe von nur 300 m würde lediglich ein Puffer von ca. 73 m entstehen. Ein kleinerer Grenzwinkel ($<76,5^\circ$) würde einen größeren Einwirkungsbereich bedeuten und den Pufferbereich vergrößern. Es ist jedoch nicht nachvollziehbar, warum die BGE die für den

Bereich des Steinkohlenbergbaus in Nordrhein-Westfalen etablierte Vorgehensweise unter Nutzung von „Rissblattumhüllenden“ nicht ebenso auf die Bergwerke im Aufsichtsbezirk des LBEG anwendet. Ohne die numerischen bzw. geographischen Unterschiede der beiden Methoden (Grenzwinkelabschätzung vs. Rissblattumhüllende) zu kennen, ist die Grenzwinkelbetrachtung „unnötig“ ungenau und pauschal.

Bestandsbergwerke der BGE Asse und Konrad

Die Standorte Konrad, Asse und Morsleben werden nach § 22 Abs. 2 Nr. 3 StandAG (Ausschlusskriterium „Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit“) ausgeschlossen. Abweichend von der generellen Methodik des Ausschlusses über Beeinflussungsbereiche wurde eine individuelle Ermittlung der ausgeschlossenen Gebiete für die Bestandsbergwerke der BGE (Konrad, Asse, Morsleben) entschieden:

/U1/ „Dieses gesonderte Vorgehen ist darin begründet, dass ein wesentlicher Aspekt für die Genehmigung der Errichtung und/oder des Betriebs der Bestandsbergwerke der BGE Langzeitsicherheitsbewertungen sind, die z. T. einen erheblichen Teil des umgebenden Gebirges einbeziehen.“

Für Konrad erscheint uns der Ansatz, das Modellgebiet der Langzeitsicherheitsanalyse von 1986 (den im Planfeststellungsverfahren ermittelten Einflussbereich) zugrunde zu legen, nach erster cursorischer Prüfung methodisch nachvollziehbar.

Für die Schachanlage Asse II umfasst das ausgeschlossene Gebiet „in Nord-Süd-Richtung die Salzhülle einschließlich eines Sicherheitsbereichs im Deckgebirge. Für die Grenzen nach Westen und Osten werden die ungefähren Modellgrenzen des hydrogeologischen Deckgebirgsmodells herangezogen (AF-Colenco AG Grundwasserschutz und Entsorgung 2009).“/U2/

Seit der Vorstellung des „Colenco-Modells“ („Modellierung der Grundwasserbewegung im Deckgebirge der Schachanlage Asse II“) hat sich der Kenntnisstand über das Deckgebirge der Asse erweitert und verändert. Es existieren neue Vorstellungen vom strukturellen Bau des Deckgebirges über der Salzstruktur, die auch eine neue Bewertung und Modellierung der Grundwasserbewegung im Deckgebirge erfordern und damit auch die Modellgrenzen verändern können.

- Werden die neuen Erkenntnisse zur Struktur des Deckgebirges beim Ausschluss dieses Gebietes berücksichtigt? Wird es eine Anpassung an neue Modellrechnungen geben?
- Gesetzlich gefordert ist die Stilllegung der Schachanlage Asse II nach Rückholung der radioaktiven Abfälle. Ist das zu planende Rückholungsbergwerk mit den dafür erforderlichen Infrastrukturen im ausgeschlossenen Gebiet berücksichtigt?
- Es ist bekannt, dass im Rahmen der Rückholung radioaktive Abfälle in der Grube verbleiben werden. Dafür ist eine Langzeitsicherheitsbewertung notwendig und ggfs.

ein Programm zur Überwachung, zum Monitoring, dass sich weiträumiger um den jetzigen ausgeschlossenen Bereich ansiedeln muss. Sollte hier nicht ein weit größerer Bereich um die Schachtanlage Asse II ausgeschlossen werden, als es jetzt vorgesehen ist?

Ausschlusskriterium „Seismische Aktivität“

Nach § 22 Abs. 2 Nr. 4 des StandAG (/U4/) ist ein Gebiet nicht als Endlagerstandort geeignet, wenn die örtliche seismische Gefährdung größer ist als in Erdbebenzone 1 nach DIN EN 1998-1/NA:2011-01. Die Anwendung (/U1/, /U2/) des Kriteriums durch die BGE erfolgt, indem die für die Oberfläche ausgewiesenen Gebiete in alle für die Endlagerung relevanten Tiefenlagen projiziert und die entstehenden Volumenkörper ausgeschlossen werden. Alle so ausgeschlossenen Gebiete liegen außerhalb von Niedersachsen.

Das Vorgehen ist nachvollziehbar vor dem Hintergrund, dass im StandAG der eindeutige Bezug zu DIN EN 1998-1/NA:2011-01 gegeben ist. In Niedersachsen sind keine Erdbebenzonen ausgewiesen, sodass der Schlussfolgerung des Zwischenberichts gefolgt werden kann.

Der Nationale Anhang, auf den das StandAG Bezug nimmt, wird zurzeit überarbeitet. Im Zusammenhang mit der Erstellung des Zwischenberichts hat sich die BGE mit diesen aktuellen Entwicklungen auseinandergesetzt. In einer Auftragsarbeit soll durch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) bewertet werden, ob und wie die im StandAG formulierten Kriterien mit Bezug auf die DIN EN 1998-1/NA:2011-01 auf die aktuelle Entwurfsversion DIN EN 1998-1/NA:2018-10 übertragen werden können. Ein Zwischenstand dieser Arbeit liegt bereits vor³.

Diese über den Zwischenbericht Teilgebiete hinausgehenden, weiterführenden Bewertungen werden an dieser Stelle nicht betrachtet. Weiterführende Bewertungen zur Anwendung des Ausschlusskriteriums seismischer Aktivität erscheinen vor dem Hintergrund der Neuregelungen der DIN aus fachlichen Gründen sinnvoll.

Fazit:

Die Methode zum Ausschluss erdbebengefährdeter Gebiete und deren Anwendung sind für Niedersachsen grundsätzlich plausibel und nachvollziehbar. Als Region mit geringer Seismizität werden durch dieses Kriterium keine Gebiete in Niedersachsen ausgeschlossen.

³ Kaiser, D. & Spies, T. (2020): Anwendung des Ausschlusskriteriums Seismische Aktivität. Zwischenbericht. – 23 S., Hannover. 29.04.2020

Ausschlusskriterium „Vulkanische Aktivität“

Nach derzeitigem Wissensstand ist Niedersachsen von diesem Ausschlusskriterium nicht betroffen.

Zur Anwendungsmethodik liegt ein fachliches Positionspapier der Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) vom 07.10.2020 vor, in der einige, im weiteren Verfahren zu berücksichtigende Punkte benannt und Empfehlungen gegeben werden:

https://www.infogeo.de/Infogeo/DE/Downloads/2020_10_07_ausschlusskriterium_vulkanismus.html

Aus grundsätzlichen Überlegungen heraus würde das LBEG die Empfehlung eines konkreten (minimalen) Sicherheitsabstandes vermeiden, sondern diese Aufgabe der BGE überlassen. Stattdessen würde das LBEG empfehlen, im weiteren Verfahrensablauf die Sicherheitsabstände für jede Vulkanregion individuell fachlich zu begründen und zu berücksichtigen.

Ausschlusskriterium „Grundwasseralter“

Das Kriterium wurde in dieser Phase des Verfahrens nur punktuell angewendet in Bereichen, die über das Ausschlusskriterium „Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit“ bereits ausgeschlossen wurden.

Verwendete Unterlagen

/U1/ BGE (2020): Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG

/U2/ BGE (2020): Anwendung Ausschlusskriterien gemäß § 22 StandAG. Untersetzende Unterlage zum Zwischenbericht Teilgebiete. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH

/U3/ BGE (2020): Datenbericht Ausschlusskriterien gemäß § 22 StandAG (Untersetzende Unterlage des Zwischenberichts Teilgebiete)

/U4/ StandAG (2017): Gesetz zur Fortentwicklung des Gesetzes zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle und anderer Gesetze. – Bundesanzeiger Nr. 26 vom 15.05.2017, 05.05.2017.

Anlage 2

Stellungnahme

Bearbeitungsstand 01.02.2021

Methodik zur Anwendung der Mindestanforderungen im „BGE-Zwischenbericht Teilgebiete“ (BGE 28.09.2020)

Anlass

Die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) hat am 28.09.2020 den „BGE-Zwischenbericht Teilgebiete“ gemäß § 13 Abs. 2 S. 3 StandAG veröffentlicht.

Gegenstand dieser Stellungnahme ist eine kritische Würdigung der Methodik zur Anwendung der Mindestanforderungen für Niedersachsen.

Diese Stellungnahme stellt eine erste Bewertung dar und wird fortgeschrieben.

Stellungnahme - Ergebnis der ersten überschlägigen Prüfung/Bewertung

Datengrundlagen / 3D-Modelle

Für die Prüfung der Mindestanforderungen (u.a. Mächtigkeit und Teufe des ewG) liefern insbesondere die geologischen 3D-Modelle wichtige Informationen. 3D-Modelle liegen jedoch nicht bundesweit, sondern nur für ca. 65 % der Fläche bzw. des Untergrundes von Deutschlands vor. In Regionen, in denen kein 3D-Modell vorliegt, prüft die BGE die Mindestanforderungen auf Basis von thematischen Karten und Bohrungsdaten ab (/U2/ S. 74). Laut BGE ergaben sich dabei *„keine Gebiete, die aufgrund nicht hinreichender geologischer Daten nicht eingeordnet werden können“* (/U1/, S. 24).

Das Vorgehen der BGE, die Mindestanforderungen trotz heterogener Datenlage bundesweit anzuwenden, ist grundsätzlich nachvollziehbar. Allerdings kommt die BGE zum Ergebnis, dass bundesweit eine ausreichende geologische Datenlage gegeben ist. Dem entgegenzuhalten ist, dass eine Prüfung der Mindestanforderungen ohne 3D-Modell anhand von wenigen Bohrungen in Gebieten mit komplexer Geologie nur wenig belastbar sein kann. Auch innerhalb von Gebieten mit geologischen 3D-Modellen kann anhand der zugrundeliegenden heterogenen Datenlage und allein schon aufgrund des überregionalen und eher sehr kleinen Maßstabes der Modelle von i.d.R. 1:300.000 nicht von einer gleich hohen Belastbarkeit und vergleichbarer Genauigkeit ausgegangen werden¹. Zusätzlich ist zu beachten, dass die 3D-Modelle i.d.R. zu einem gewissen „Stichtag“ erstellt wurden und neuere Erkenntnisse bspw. aus Bohrungen und geophysikalischen Untersuchungen mitunter

¹ siehe auch Stellungnahme der SGD für die Endlagerkommission: KMAT 53a „Datengrundlagen für die geowissenschaftlichen Kriterien im Rahmen des Standortauswahlverfahrens“ (05.04.2016)

über Jahrzehnte nicht nachgepflegt wurden. Daher können 3D-Modelle nicht uneingeschränkt, losgelöst und ohne Berücksichtigung aller zwischenzeitlich hinzugekommenen Informationen in konkreten Fragestellungen vor Ort angewendet werden.

Anmerkungen zu /U4/:

In Kapitel 4.1 „3D-Geomodelle“ werden Informationen zur Software, Datenverwaltung und Backup gegeben, in der Übersicht der geologischen 3D-Modelle in Abbildung 1 wird der GTA3D des LBEG in seiner Ausdehnung korrekt dargestellt. Der GTA3D wird sehr knapp beschrieben, dabei allerdings missverständlich in Bezug auf die geometrischen Objekte, die Störungen darstellen: „Störungen wurden in Segmenten senkrecht zwischen den einzelnen Basisflächen modelliert.“ Die Störungen im GTA3D sind allerdings als senkrechte Versatzflächen *innerhalb der jeweiligen Basisflächen* modelliert.

Des Weiteren wird auf die bundeslandspezifischen Modellierprotokolle verwiesen im Dokument /U5/.

zu: S.55 Absatz 2, Satz 1: Es sind hier nicht die Salzstrukturen, die durch das Zechstein-Salinar mechanisch entkoppelt sind, sondern das mesozoische Deckgebirge ist mechanisch entkoppelt vom Subsalinar.

zu: S. 56, Tabelle 11: Datenformat der Modelldaten des GTA3D ist das t-surf-Format, nicht das shp-Format.

Anmerkungen zu /U5/:

Zu Kapitel 1.1.3

Die Methodik zur Bestimmung der Salzstrukturmächtigkeit aus den Daten des GTA3D erscheint nach kurzer cursorischer Durchsicht plausibel.

In Südniedersachsen ist kein GTA3D-Modell vorhanden und vereinzelt sind keine Salzstrukturen im GTA3D ausmodelliert. Deshalb wurden hier durch die BGE die Niveauschnittkarten aus INSPEE² (ein Projekt mit Beteiligung der BGR, KBB und der Uni Hannover) als Grundlage verwendet. Kurze Erläuterungen zum INSPEE-Bericht und zu den INSPEE-Niveauschnittkarten wären hilfreich, fehlen aber (Teilgebiete der Salzstrukturen, die auf Basis der INSPEE-Niveauschnittkarten erzeugt wurden, sind: Allertal, Offlebener Sattel, Harriehausen, Düderode/Oldenrode, Waddekath).

² BGR et al. (2016): Informationssystem Salzstrukturen: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potentialabschätzung für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von Erneuerbaren Energien (Wasserstoff und Druckluft).

Zu den Kapiteln 1.2.4 Zechstein in Niedersachsen, 1.2.10 Oberer Buntsandstein
Niedersachsen, 1.2.17 Mittlerer Keuper, 1.2.20 Oberjura

Die Methodik zur Bestimmung der jeweiligen Horizontmächtigkeiten aus den Daten des GTA3D erscheint nach kurzer cursorischer Durchsicht plausibel. Die im GTA3D modellierten Einheiten sind zusammengefasst aus verschiedenen lithostratigraphischen Einheiten, die nur zum Teil aus Salzgesteinen bestehen. Die dargestellten Auswertungen zur weiteren Eingrenzung sind bei cursorischer Prüfung schwer nachvollziehbar.

Zu den Kapiteln 1.3.5 Keuper, 1.3.9 Unterjura, 1.3.16 Mittlerer Jura, 1.3.24 Unterkreide,
1.3.31 Oberkreide, 1.3.35 Tertiär, Unterpaleozän

Die Methodik zur Bestimmung der jeweiligen Horizontmächtigkeiten aus den Daten des GTA3D erscheint nach kurzer cursorischer Durchsicht plausibel. Die im GTA3D modellierten Einheiten sind zusammengefasst aus verschiedenen lithostratigraphischen Einheiten, die nur zum Teil aus Tonsteinen bestehen. Die dargestellten Auswertungen zur weiteren Eingrenzung sind bei cursorischer Prüfung schwer nachvollziehbar.

Weitere Anmerkungen:

Es gibt Bundesländer, in denen keine 3D-Modelle (z. B. Sachsen-Anhalt, Mecklenburg-Vorpommern) vorliegen, einige Länder haben modellierte Horizonte in ihren Modellen unterschiedlich zusammengefasst (in NRW sind Unter- und Mitteljura als eine Einheit zusammengefasst, in Niedersachsen sind es zwei Einheiten). Der unterschiedliche Detaillierungsgrad und Maßstab bedeutet eine mögliche Fehlerquelle. Die Angaben für Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern z. B. stammen aus großräumigen Übersichtswerken („Südpermisches Becken“). Einige Teilgebiete enden somit an Ländergrenzen (Modellgrenzen), weil eine Datenharmonisierung nicht möglich war. Dort, wo „gute“ Modelle vorhanden sind, wurden seitens der BGE weitere Daten (z. B. Bohrdaten) nur noch sehr untergeordnet betrachtet. Dies führt in der Bewertung insgesamt zu einer (nicht rein geologisch bedingten) „Ungleichbehandlung“ der einzelnen Länder bzw. Modell-/„Nichtmodell“-regionen.

Anmerkungen zu den Inventarisierungstabellen und der Ausweisung endlagerrelevanter stratigraphischer Einheiten:

Durch Auswertungen der Stratigraphischen Tabelle von Deutschland sowie weiteren Quellen (publizierte Regionalwerke der Länder sowie Standardwerke der Deutschen Stratigraphischen Kommission (DSK) und Subkommissionen) wurden sogenannte Inventarisierungstabellen generiert. Diese beinhalten nach /U1/ (S. 88) eine *„Zusammenstellung aller stratigraphischer Einheiten, die eine für die Zwecke der Prüfung der Mindestanforderungen endlagerrelevante Gesteinsabfolge mit den entsprechenden Gesteinstypen erwarten lässt“*. Auf Grundlage der lithologischen und petrographischen Beschreibungen werden Gesteinsvorkommen *„hinsichtlich ihrer Eignung als endlagerrelevante Gesteinsinformation für das weitere Standortauswahlverfahren*

eingegrenzt“. Die Inventarisierungstabellen sind für jedes Bundesland in /U5/ zusammengestellt.

Hinsichtlich der Endlagerrelevanz bewertet wurden die über die Inventarisierungstabellen identifizierten Gesteinsvorkommen dann anhand der *„Barriereigenschaften/-wirkung und beeinflussende Aspekte“*, Durchlässigkeit, Standsicherheit und Mächtigkeit (/U1/ Abbildung 28, S. 91), also den Mindestanforderungen 1, 2 & 5. Eine endlagerrelevante Gesteinsformation liegt nach /U1/ und /U2/ nur dann vor, wenn diese *„hinsichtlich der Gebirgsdurchlässigkeit und der Kenntnislage zum Erhalt der Barrierewirkung die Erfüllung der Mindestanforderungen erwarten lässt und keine deutlichen Hinweise auf eine zu geringe Mächtigkeit vorliegen“*. Im Ergebnis wurden *„potentiell endlagerrelevante Gesteinsabfolgen als stratigraphische Einheit oder Teil dieser Einheit“* benannt. Die Methodik des Vorgehens ist vom grundsätzlichen Ansatz her plausibel.

Die bis auf die Ebene von Subformationen durchgeführte detaillierte Inventarisierung spielt bei der bisherigen Ausweisung von Teilgebieten sicherlich in dieser Betrachtungstiefe auch nur eine untergeordnete Rolle, da die bisher verwendeten Daten diese Informationen überwiegend nicht hergeben werden. Dies wird auch in /U2/ S. 59 benannt. 3D-Modelle / Strukturkarten beinhalten meist nur die übergeordneten stratigraphischen Einheiten, wie beim Steinsalz z. B. Rotliegend, Zechstein etc. bzw. sind gröber zusammengefasst (z.B. zusammengefasste Einheit aus Muschelkalk und Röt im Geotektonischen Atlas von Nordwestdeutschland).

Das Ergebnis, wie in /U2/ Kap. 8 dargestellt, ist entsprechend nachvollziehbar. Hier wurde z.B. der gesamte Zechstein als Einheit zusammengefasst (/U2/ Abb. 11), die potentiell endlagerrelevante Steinsalzformationen enthalten kann.

Eine detaillierte Prüfung der einzelnen in den Inventarisierungstabellen aufgeführten stratigraphischen Einheiten und der darin enthaltenen Gesteinsformationen wurde vom LBEG bisher nicht vorgenommen/dokumentiert.

Größe der Gebiete mit erfüllten Mindestanforderungen:

Der methodische Ansatz der BGE zur Anwendung der Mindestanforderungen ist aus mehreren Gründen (bewusst) flächenkonservativ, d.h. es werden im jetzigen Verfahrensschritt deutlich größere Gebiete ausgewiesen, als bei detaillierterer Betrachtung zu erwarten wäre:

- Der Internbau von Salzstöcken wird im derzeitigen Verfahrensschritt vernachlässigt, d.h. eine Abgrenzung des endlagerrelevanten Steinsalzes gegenüber z.B. Kalisalz, Anhydrit erfolgt nicht (vgl. /U2/, S. 66).
- Die begrenzte stratigraphische Detailtiefe der verfügbaren 3D-Modelle führt zu einer *„Überschätzung die Mächtigkeit und Ausdehnung der endlagergeeigneten Gesteinsschichten“* (/U1/, S. 92).

- *„Wenn [...] wenig bis keine Daten in einem Gebiet für die Prüfung einzelner oder aller Mindestanforderungen vorliegen und die allgemein anerkannten Kenntnisse über die Gesteinseigenschaften nicht gegen die Erfüllung dieser Mindestanforderungen sprechen, werden diese ebenfalls als identifizierte Gebiete ausgewiesen.“*
(/U1/, S.87-88)

Das flächenkonservative Vorgehen der BGE zum derzeitigen Verfahrensstand erscheint zunächst nachvollziehbar.

Besondere Fragestellungen

Anwendung der Mindestanforderungen – Wirtsgestein Steinsalz

Gebirgsdurchlässigkeit

- a) Differenzierung zwischen Steinsalz in flacher und steiler Lagerung:

Nach /U3/ „IG-Steckbriefe“ wird die Mindestanforderung Gebirgsdurchlässigkeit bei allen identifizierten Gebieten mit Steinsalz in stratiformer Lagerung als erfüllt betrachtet. Bei allen identifizierten Gebieten mit Steinsalz in steiler Lagerung wird angegeben
„Gebirgsdurchlässigkeit: 10^{-12} m/s“.

Da die Mindestanforderung Gebirgsdurchlässigkeit lt. StandAG (/U8/) bereits ab einer Gebirgsdurchlässigkeit von geringer als 10^{-10} m/s erfüllt ist, suggeriert diese unterschiedliche Formulierung (ungewollt?), dass bei Steinsalz in steiler Lagerung eine geringere Gebirgsdurchlässigkeit erwartet wird als bei stratiformem Steinsalz. Hierfür wird jedoch keine fachliche Begründung gegeben. In den Erläuterungen zur Anwendung der Mindestanforderungen sowohl für Steinsalz in steiler Lagerung als auch für stratiformes Steinsalz wird festgestellt:

„Für das Wirtsgestein Steinsalz nimmt die BGE an, dass aufgrund der bekannten Eigenschaften von Steinsalz eine ausreichend geringe Gebirgsdurchlässigkeit vorliegt.“ (/U1/, S. 99 und S. 101)

Diese Formulierung legt nahe, dass bezüglich der Gebirgsdurchlässigkeit nicht zwischen steiler und stratiformer Lagerung differenziert wird. Dafür spricht ebenso, dass nur einen einzigen Referenzdatensatz für Steinsalz entwickelt hat und diesen sowohl für Steinsalz in steiler Lagerung als auch für stratiformes Steinsalz verwendet (/U7/, S. 101).

- b) Verwendete Daten:

Es ist nicht nachvollziehbar dokumentiert, ob bzw. in welchem Ausmaß bei der Anwendung der Mindestanforderungen bereits ggfs. vorliegende quantitative Daten zur Gebirgsdurchlässigkeit verwendet wurden. Im derzeitigen Verfahrensschritt wird (pauschal) eine ausreichend geringe Durchlässigkeit für Steinsalz unterstellt:

„Für das Wirtsgestein Steinsalz nimmt die BGE an, dass aufgrund der bekannten Eigenschaften von Steinsalz eine ausreichend geringe Gebirgsdurchlässigkeit vorliegt.“ (/U1/, S. 99 u. 101)

Diese Annahme ist plausibel. . Es wird jedoch ausdrücklich betont, dass bei der Anwendung der Mindestanforderung Gebirgsdurchlässigkeit „einzelne verfügbare Untersuchungsdaten“ sowie „Hinweise zur Gebirgsdurchlässigkeit“ berücksichtigt wurden:

„Im Hinblick auf die Erfüllung der Mindestanforderung Gebirgsdurchlässigkeit (§ 23 Abs. 5 Nr. 1 StandAG) wurde im Zuge der Inventarisierung (vgl. Kapitel 6.2 und Abbildung 7) basierend auf den allgemeingültigen Erkenntnissen zum Gesteinstyp Steinsalz und zu Salzstrukturen im Allgemeinen sowie einzelnen verfügbaren Untersuchungsdaten eine Gebirgsdurchlässigkeit belegt, die ausreichend gering ist, um der Anforderung gerecht zu werden.“ (/U2/, S. 66)

„Auf Grundlage der Inventarisierungstabelle (vgl. Kapitel 6.2, Tabelle 1) wurden [...] zunächst die identifizierten Steinsalzvorkommen/-abfolgen identifiziert und nach stratigraphischer Einheit zusammengefasst (z. B. verschiedene Halitlager im Mittleren Keuper). Dies ermöglicht eine überregionale Bearbeitung und erste Eingrenzung des Untersuchungsraumes für weiterführende und vertiefende Recherchen zur lithologischen Ausbildung, Mächtigkeitserwartung und Verbreitung der Vorkommen. Im Rahmen dieser Recherche wurden ebenfalls Hinweise zur Gebirgsdurchlässigkeit erfasst und ggf. neu bewertet.“ (/U2/, S. 71ff)

Um welche Daten/Hinweise es sich hierbei handelt und wo bzw. für welche stratigraphische Einheit diese Daten/Hinweise vorliegen, ist weder in den Steckbriefen der identifizierten Gebiete (/U3/) noch in den Inventarisierungstabellen (/U6/) dokumentiert.

Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (ewG)

In /U1/ (S. 99) trifft BGE die Festlegung zur Mindestmächtigkeit des ewG von 100 m, dass *„für alle **steil stehenden** Salzstrukturen, die eine Mächtigkeit von mindestens 100 m aufweisen, [...] diese Mindestanforderung im jetzigen Verfahrensschritt als erfüllt“* gilt.

Dieses Vorgehen lässt den Internbau der Salzstrukturen bewusst außen vor und ist nur unter der Annahme plausibel, dass die komplette Mindestmächtigkeit innerhalb der Salzstruktur aus Steinsalz besteht. Da aufgrund teilweise sehr komplexer Internbaue nur Teilbereiche von Salzstrukturen aus größeren zusammenhängenden Steinsalzbereichen bestehen, wird das Volumen von potentiell Wirtsgestein in einer Salzstruktur zum jetzigen Verfahrensstand daher voraussichtlich deutlich überschätzt.

Die BGE sollte im weiteren Verfahren darlegen, anhand welcher Parameter eine belastbare weitere Reduzierung der Teilgebiete hin zu untersuchungswürdigen Standortregionen bei steil stehenden Salzstrukturen erfolgen soll.

In /U1/ (S. 102) wird zu Steinsalz in **stratifomer** Lagerung erläutert, dass über Informationen aus geologischen 3D-Modellen, aus thematischen Karten und aus Bohrungen eine Ausweisung von Mächtigkeiten von stratigraphischen Einheiten mit potentiellen

Wirtsgesteinsformationen vorgenommen wurde. Bohrungen dienten dabei *„überwiegend als Beleg für die Erfüllung der Mindestanforderung“*.

In /U2/ (S. 74) wird ergänzt, dass Bohrungen als Belege genutzt wurden, um das generelle Erfüllen der Mindestanforderungen, auch über die 3D-Auswertung hinaus, zu belegen. Gab es eindeutige Belege außerhalb der vorausgewählten Flächen, wurden diese entsprechend vergrößert. Es wird eingeschränkt: *„Da Bohrungen lediglich lokale Informationen des Untergrundes liefern, konnten diese Informationen zum jetzigen Zeitpunkt nur bedingt zur weiteren räumlichen Eingrenzung benutzt werden.“*

Es wird nicht ausgeführt, wie viele und welche repräsentative Bohrungen hier ggfs. als Beleg dienten.

Minimale Teufe des ewG

Derzeit keine Anmerkungen

Fläche des Endlagers

- a) Nach /U2/ (S. 65) wird für Steinsalz in **steiler Lagerung** ein Mindest-Flächenbedarf von 3 km² angesetzt. Mithilfe der 3D-Modelle wurde die maximale Ausdehnung des potentiellen Wirtsgesteins in den Salzstrukturen berechnet und an die GOK projiziert. Diese Herangehensweise erscheint zum jetzigen Verfahrensstand grundsätzlich nachvollziehbar. Aufgrund von Ungenauigkeiten in den 3D-Modellierungen (vgl. Punkt Allgemeine Hinweise/Datenlage) sowie insbesondere des größtenteils unbekanntem Internbaus der Salzstrukturen (vgl. Punkt Mächtigkeit des ewG) kommt es zu Einschränkungen der Aussagekraft dieser Berechnungen. Es ist generell von deutlichen Überschätzungen der zur Verfügung stehenden Flächen mit potentiell Wirtsgestein auszugehen.
- b) Nach /U2/ (S. 71) wird für Steinsalz in **stratiformer Lagerung** ebenfalls ein Mindest-Flächenbedarf von 3 km² angesetzt. Hier findet sich jedoch der Zusatz, dass *„zusätzlicher Flächenbedarf z.B. in Abhängigkeit der Konfigurationsmöglichkeiten des Endlagers oder zusätzlicher Sicherheitsabstände [...] weiterhin gegeben“* sei. Es wird nicht dargelegt, auf welchen Annahmen diese Aussage beruht.

Erhalt der Barrierewirkung

In /U2/ (S. 72) wird für Steinsalz in **stratiformer Lagerung** erläutert: *„Anhand der aktuellen Datenlage und Bearbeitungstiefe liegen für die ausgewiesenen Gebiete derzeit keine Hinweise vor, die die Mindestanforderungen zum Erhalt der Barrierewirkung [...] in Frage stellen. [...] gilt die Mindestanforderung damit stets als erfüllt und wird zu diesem Zeitpunkt im Verfahren nicht gesondert überprüft.“*

In /U2/ (S. 69 & S. 76) wird für **„Salzstrukturen** (im Speziellen Salzstöcke und Salzkissen), die Kavernen und Bergwerke enthalten, der Erhalt der Barrierewirkung für eine Million Jahre

zweifelhaft“ bewertet. Auf S. 181 & 199 /U2/ wird dann erläutert, dass für Salzstöcke und Salzkissen, *„die Kavernen und Bergwerke enthalten, [ist] der Erhalt der Barrierewirkung für eine Million Jahre zweifelhaft“* sei und die *„Mindestanforderung nach § 23 Abs. 5 Nr. 5 StandAG wird in diesen Gebieten als nicht erfüllt angesehen“*.

Es stellt sich die Frage, warum die Salzstruktur Allertal hier eine Ausnahme darstellt. Sie ist Teilgebiet geworden, welches z.T. direkt angrenzend an den Beeinflussungsbereich eines Bergbaus beginnt. Es bleibt zudem unklar, wie Kavernen und Bergwerke bei Salzformationen in flacher Lagerung hinsichtlich ihres Einflusses auf den Erhalt der Barrierewirkung bewertet werden.

Anmerkungen zur Methodik der Anwendung der Mindestanforderung „Gebirgsdurchlässigkeit“

§ 23 Abs. 5 Nr. 1 StandAG „Gebirgsdurchlässigkeit“: *„in einem einschlusswirksamen Gebirgsbereich muss die Gebirgsdurchlässigkeit k_f weniger als 10^{-10} m/s betragen; sofern ein direkter Nachweis in den Begründungen für die Vorschläge nach den §§ 14 und 16 noch nicht möglich ist, muss nachgewiesen werden, dass der einschlusswirksame Gebirgsbereich aus Gesteinstypen besteht, denen eine Gebirgsdurchlässigkeit kleiner als 10^{-10} m/s zugeordnet werden kann;“* (/U8/).

Aufgrund zahlreicher Versuche zur Ermittlung der Gebirgsdurchlässigkeit in Tongestein (z.B. der Nagra) und Salz (z.B. der BGR) in steiler Lagerung kann zum jetzigen Zeitpunkt davon ausgegangen werden, dass diese beiden Wirtsgesteine eine Gebirgsdurchlässigkeit von kleiner 10^{-10} m/s erreichen können. Die Begründung zur Bewertung der BGE bleibt jedoch unbestimmt, weil mit einer allgemeinen Einschätzung ohne konkrete Literaturhinweise argumentiert wird. Um die Aussagen zur Gebirgsdurchlässigkeit transparent und schlüssig zu gestalten, empfiehlt sich eine Referenz auf die Referenzdatensätze, auch wenn diese erst konkret für die Bewertung der Abwägungskriterien herangezogen werden.

Mit Verweis auf das Gesetz wird die Anwendung des Kriteriums „Gebirgsdurchlässigkeit“ für Kristallingesteine ausgesetzt. Dennoch wird ein Exkurs über die Gebirgsdurchlässigkeit mit Literaturangabe (Dominico & Schwarz) geführt. In /U2/ auf S. 84 wird erwähnt, dass *„Im Zuge der Inventarisierung (wurden) auch für diese Einheiten und Gesteinstypen bundesweit die verschiedenen Datenquellen zur Bewertung der Gebirgsdurchlässigkeit ausgewertet“* wurden. Aus Gründen der Transparenz und Wissenschaftlichkeit wäre eine kurze Einordnung über den Gesetzestext hinaus z.B. mit Verweis auf die Referenzdatensätze wünschenswert.

Anmerkungen im Einzelnen:

- *„Für das Wirtsgestein Steinsalz nimmt die BGE an, dass aufgrund der bekannten Eigenschaften von Steinsalz [in steiler und flacher Lagerung] eine ausreichend geringe Gebirgsdurchlässigkeit vorliegt.“* /U2/ Kap. 6.3.1 - S. 64 und 6.3.2 - S. 70

In Kap. 4.1.1 auf Seite 36 /U2/ wird mit Literaturhinweis festgestellt, dass „Steinsalz praktisch undurchlässig ist.“ Ob dies auch für Steinsalz in stratiformer Lagerung gilt, wird nicht diskutiert. Steinsalz in stratiformer Lagerung könnte eine höhere Durchlässigkeit aufweisen, weil stratiformes Steinsalz nicht homogen ist, sondern aufgrund wiederholter Eindampfungszyklen aus Karbonat, Anhydrit, Steinsalzlagen aufgebaut ist. Kleine Klüfte zwischen den karbonatischen, anhydritischen und Steinsalz-Lagen könnten zu einer höheren schichtparallelen Gebirgsdurchlässigkeit führen.

- „Für Tongestein wird in der gegenwärtigen Phase des Standortauswahlverfahrens angenommen, dass auf Grund der bekannten Eigenschaften eine ausreichend geringe Gebirgsdurchlässigkeit vorliegt.“ /U2/ Kap. 6.3.3 - S. 76

In Kap. 4.1.2 auf Seite 37/38 /U2/ werden keine Angaben gemacht, woher die „Gewissheit“ kommt, dass Tongestein einen Gebirgsdurchlässigkeitsbeiwert von kleiner 10^{-10} m/s erreicht.

- „Die Mindestanforderung Gebirgsdurchlässigkeit § 23 Abs. 5 Nr. 1 [für Kristallingestein] wird entsprechend der gesetzlichen Vorgabe nicht angewendet, denn im jetzigen Detailierungsgrad ist eine Differenzierung zwischen den verschiedenen möglichen Endlagerkonzepten für kristallines Wirtsgestein nicht sinnvoll.“ /U2/ Kap. 6.3.4 - S. 82

In Kap. 4.1.3 auf Seite 41 /U2/ zitiert die BGE Dominico & Schwarz mit Gebirgsdurchlässigkeiten für ungestörte Kristallingesteine von 10^{-15} bis 10^{-10} m/s und für geklüftete Bereiche mit 10^{-9} bis 10^{-4} m/s, die deutlich unter der Mindestanforderung von 10^{-10} m/s liegen.

Auf Seite 84 /U2/ führt die BGE zum Einlagerungskonzept für Kristallingesteine näher aus:

„In § 23 Abs. 5 Nr. 1 StandAG steht weiter, dass eine Gebirgsdurchlässigkeit von k_f kleiner als 10^{-10} m/s auch durch die den Einlagerungsbereich überlagernden Schichten nachgewiesen werden kann. Der ewG wird in diesem Fall durch die den Einlagerungsbereich überlagernden Schichten gebildet.“

„Insgesamt ergeben sich folgende mögliche Endlagerkonzepte im kristallinen Wirtsgestein (/U2/ Kap. 6.3.4 - S. 84)

1. Das Kristallin stellt den Einlagerungsbereich und den ewG.
2. Das Kristallin stellt den Einlagerungsbereich und der sichere Einschluss wird durch technische und geotechnische Barrieren gebildet.
3. Das Kristallin stellt den Einlagerungsbereich und der ewG wird durch Schichten gebildet, die das Kristallin überlagern.

Diese für kristallines Wirtsgestein möglichen Endlagerkonzepte stellen unterschiedliche Anforderungen an die geologische Situation und die Gesteinseigenschaften sowie die technischen und geotechnischen Barrieren...“

Es ist nachvollziehbar, dass dies im jetzigen Verfahrensschritt noch nicht detailliert beschrieben werden kann.

Verwendete Unterlagen

- /U1/ BGE (2020a): Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG, Stand 28.9.2020
- /U2/ BGE (2020b): Anwendung Mindestanforderungen gemäß § 23 Stand AG (Untersetzende Unterlage zum Zwischenbericht Teilgebiete), Stand 28.09.2020
- /U3/ BGE (2020c): Anlage (zu „Anwendung Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG“) IG-Steckbriefe, Stand 23.09.2020
- /U4/ BGE (2020d): Datenbericht Teil 1 von 4 – Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG und geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG (Untersetzende Unterlage des Zwischenberichts Teilgebiete), Stand 28.09.2020
- /U5/ BGE (2020e): Datenbericht Teil 2 von 4 – Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG und geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG (Untersetzende Unterlage des Zwischenberichts Teilgebiete), Stand 28.09.2020
- /U6/ BGE (2020f): Datenbericht Teil 4 von 4 – Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG und geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG (Untersetzende Unterlage des Zwischenberichts Teilgebiete), Stand 28.09.2020
- /U7/ BGE (2020g): Referenzdatensätze zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im Rahmen von § 13 StandAG, Stand 01.09.2020
- /U8/ StandAG (2017): Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074), das zuletzt durch Artikel 247 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist

Anlage 3

Stellungnahme

Bearbeitungsstand 01.02.2021

Methodik zur Anwendung der Abwägungskriterien im „BGE-Zwischenbericht Teilgebiete“ (BGE 28.09.2020)

Anlass

Die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) hat am 28.09.2020 den „Zwischenbericht Teilgebiete“ gemäß § 13 Abs. 2 S. 3 StandAG veröffentlicht.

Gegenstand dieser Stellungnahme ist eine kritische Würdigung der Methodik zur Anwendung der Abwägungskriterien für Niedersachsen.

Diese Stellungnahme stellt eine erste Bewertung dar und wird fortgeschrieben.

Stellungnahme - Ergebnis der ersten überschlägigen Prüfung/Bewertung

Zu Anlage 1 (zu § 24 Absatz 3): Kriterium zur Bewertung des Transportes radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich

Vorbemerkung

Im Standortauswahlgesetz werden in Anlage 1 für das Kriterium „Bewertung des Transportes radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich“ fünf Indikatoren gelistet:

- Charakteristische Gebirgsdurchlässigkeit
- Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers
- Charakteristischer effektiver Diffusionskoeffizient des Gesteinstyps für titriertes Wasser (HTO) bei 25°C (als Indikator für die absolute Porosität)
- Absolute Porosität (als Indikator für den effektiven Diffusionskoeffizienten in Tongestein)
- Verfestigungsgrad (als Indikator für den effektiven Diffusionskoeffizienten in Tongestein)

Die Bewertung wird für alle drei Wirtsgesteine Tongestein, Kristallingestein und Steinsalz seitens der BGE auf Basis von Referenzdatensätzen vorgenommen /U1/ /U2/.

Übergeordnete Anmerkungen

Grundsätzlich ist anzumerken, dass insgesamt eine Synopse der Referenzdatensätze fehlt und eine Übersicht, welche Referenzdatensätze genau für welches Wirtsgestein verwendet wurden, was hilfreich im Sinne der Nachvollziehbarkeit einerseits und im Sinne der Bewertbarkeit andererseits, wäre.

Zu Umfang und zur Qualität der zusammengestellten Referenzdatensätze für Gebirgsdurchlässigkeit, Abstandsgeschwindigkeit und Diffusionsgeschwindigkeit ergeben sich folgende Anmerkungen:

Gebirgsdurchlässigkeit

- Die Gebirgsdurchlässigkeit von Grundwassergeringleitern stand bis zur Standorterkundung von Deponien und Endlagern nicht im Mittelpunkt von hydrogeologischen Erkundungen. Folglich ist die Datenlage zur Gebirgsdurchlässigkeit von Grundwassergeringleitern im Vergleich zu der von Grundwasserleitern deutlich geringer. Dennoch erscheint der Umfang der zitierten Literatur und demzufolge der verwendeten Datensätze insbesondere für Kristallingesteine und Steinsalz für die Ermittlung der Referenzdatensätze deutlich zu niedrig zu sein.
- Bei einem im in-situ Versuch ermittelten Gebirgsdurchlässigkeitsbeiwert handelt es sich nicht um einen Messwert, sondern um einen interpretierten Wert, weil jede Auswertung eines hydraulischen Tests auf einer Modellannahme beruht, z.B. dem Modell nach Theis (1935) /U14/ für eine vollkommen ausgebaute Messstelle in einem unendlichen GW-Leiter mit gespanntem Wasserspiegel etc.. Bei den Parametern - Messstellengeometrie, GW-Leiteraufbau, Absenkung des Wasserspiegels und Entnahmerate - handelt es sich dagegen um gemessene und dadurch fehlerbehaftete Daten, die wissenschaftlich betrachtet einer Fehleranalyse unterzogen werden müssten.
- Für die Zusammenstellung der Referenzdatensätze sollten möglichst *peer reviewed paper* oder zumindest international publizierte *reports* (Nagra, SKB, Posiva, Andra, etc.) herangezogen werden, die Aussagen über Testtypen, Auswertungsmethode und Fehlerbetrachtung machen.
- Zwingend notwendig ist auch eine kritische Diskussion über die Bedeutung und Aussagekraft der Testergebnisse, z.B. die Bedeutung des ermittelten Durchlässigkeitsbeiwertes k und der effektiven Porosität n_e .
- Grundsätzlich sollte aufgrund der Vergleichbarkeit der Durchlässigkeitsangaben ein kritischer Exkurs über die Anwendbarkeit des Darcy-Ansatzes für die drei Wirtsgesteine geführt werden.
- In Untersuchungen zeigt sich, dass die Gültigkeit des Darcy-Gesetzes in Geringleitern für wässrige Salzlösungen bis hin zu destilliertem Wasser im prä-linearen Bereich nicht gültig ist. Für Luft und flüssiges Tetrachlorkohlenstoff, Benzol, Cyklohexan wurde hingegen die Gültigkeit des „Darcy-Gesetzes“ bis in den prä-linearen Bereich hinein bestätigt (Engelhardt und Tunn 1954, /U15/). Hierüber sollte ein Exkurs zu den Konsequenzen für die vergleichende Bewertung der Versuchsergebnisse für die drei Wirtsgesteine geführt werden.

Abstandsgeschwindigkeit

- Die Berechnung der Abstandsgeschwindigkeit $v = (k \cdot i) / n_e$ in Porengrundwasserleitern erfolgt auf der Basis des Darcy-Gesetz (Darcy 1856, /U16/), das einen linearen Zusammenhang zwischen Fließgeschwindigkeit v , hydraulischen Gradienten i und Durchlässigkeitsbeiwert k herstellt. Da aufgrund des

Porenleitermaterials nicht der gesamte Querschnitt des durchflossenen Bereichs zur Verfügung steht, wird der Fließquerschnitt - für die Berechnung der Abstandsgeschwindigkeit - auf den effektiven Porenraum beschränkt. Im Ergebnis heißt dies, dass die gleiche Menge an Wasser durch einen kleineren Querschnitt fließen muss, d.h. im Endeffekt schneller fließen muss als durch einen offenen Querschnitt. Zur Anwendbarkeit dieses Berechnungsansatzes auf die drei Wirtsgesteine sollte ein Exkurs geführt werden.

- In wieweit können die Abstandsgeschwindigkeiten v nach Darcy und das „cubic law“ nach Louis (1967, Gl. 1) /U22/ verglichen werden.

Diffusionsgeschwindigkeit

- In Geringleitern ist die Diffusion gegenüber dem advektiven-dispersiven Transport mitunter der relevantere Prozess, der zur Ausbreitung von Radionukleiden beiträgt. Die treibende Kraft der Diffusion ist die Brownsche Molekularbewegung. „Sichtbar“ wird die Wirkung der Diffusion, wenn sich z.B. zwei Fluide ohne advektiven Einfluss mischen.
- Dass die absolute Porosität mit der aus Diffusionsversuchen mit HTO (H=Wasserstoff, T=Tritium, O=Sauerstoff) abgeleiteten Porosität näherungsweise gleichzusetzen ist, erscheint plausibel.

Zu /U1/ Kap. 4 Anmerkungen zum Referenzdatensatz für Tongestein

Vorbemerkung

Die fünf niedersächsischen Tongestein-Teilgebiete (Tertiär, Oberkreide, Unterkreide, Mitteljura und Unterjura) haben nach Anwendung der Abwägungskriterien eine im Wortlaut identische Bewertung erhalten (siehe Zwischenbericht Teilgebiete /U3/, Kapitel 5). Von 11 Kriterien beruhen 7 auf der Grundlage von Referenzdatensätzen, 4 Kriterien beruhen auf der Grundlage gebietsspezifischer Daten.

Insbesondere für das Teilgebiet „Tertiäre Tongesteine“ ist diese Vereinheitlichung nicht nachvollziehbar und nicht sachgerecht. Die Anwendung eines eigenen Referenzdatensatzes ist für die tertiären Tongesteine unbedingt erforderlich.

Zahlreiche Bohrungen belegen die große Heterogenität und lithofazielle Differenzierung der tertiären Abfolgen. Die tertiären (paläogenen) Sedimente in Norddeutschland sind gekennzeichnet durch sehr unterschiedliche Faziesräume, durch große petrologische und mineralogische Unterschiede innerhalb des Verbreitungsgebietes. Das Paläogen weist bei den Tongesteinen geringere und bis in große Tiefen sehr uneinheitlich ausgebildete Verfestigungsgrade auf. Wichtige Eigenschaften (u. a. Paläotemperatur, Porosität, Permeabilität, Tonmineralbildung) unterscheiden sich bei den jüngeren Tongesteinen wesentlich von denen älterer Einheiten.

Erste Prüfung der Ausführungen zum **Referenzdatensatz für Tongestein in Kapitel 4.1.2**

Charakteristische Gebirgsdurchlässigkeit k_f :

Formale Prüfung

- Auf S. 22 letzter Absatz. Angabe der Einheiten zum Parameter Fluidichte ρ ist nicht $[m/s^2]$ sondern $[kg/m^3]$.
- In der Praxis wird der hydraulische Gradient mit i für h/l verwendet. Um konsistent zu Kapitel 4.1.3 Abstandsgeschwindigkeit v_a zu sein, sollte der hydraulische Gradient i in Kapitel 4.1.2 Charakteristische Gebirgsdurchlässigkeit eingeführt werden.
- Die Literaturangaben wurden auf Vollständigkeit geprüft.

Inhaltliche Prüfung

- Die Sichtung der Literatur ergab, dass hier eine weitgehend repräsentative Auswahl vorgenommen wurde.
- Die Nachweistabellen für die Gebirgsdurchlässigkeit zeigen nicht, welche Methoden/Randbedingungen für die Auswertung verwendet wurden und wie groß der Bestimmungsfehler (Messfehler und Fehler der Modellanpassung) ist.
- In Tabelle 4 wurden Durchlässigkeitsbeiwerte für Tongesteine gelistet. Im Tabellenabschnitt auf Seite 25 mit dem Literaturzitat (Klinge & Neumann-Redlin 1986, /U17/) passt die Standortbeschreibung z.B. Hilssandstein nicht in die Rubrik „Tongestein“.

Erste Prüfung der Ausführungen zum **Referenzdatensatz für Tongestein in Kapitel 4.1.3**

Abstandsgeschwindigkeit v_a :

Formale Prüfung

- Die Einheit für die Abstandsgeschwindigkeit v_a auf Seite 82 in /U2/ sollte $[mm/a]$ sein und nicht $[m/a]$.

Inhaltliche Prüfung

- Die in /U2/ auf S. 76 Tabelle A1 „Abstandsgeschwindigkeit“ formulierte Aussage, dass die *geringe* Permeabilität und effektive Porosität zu einer geringen Abstandsgeschwindigkeit führt ist so nur bedingt zutreffend, weil die effektive Porosität in der Formel zur Berechnung der Abstandsgeschwindigkeit im Nenner steht, d.h. je kleiner die effektive Porosität desto größer wird die Abstandsgeschwindigkeit. Hier wäre folgende Aussage vorzuziehen: „Trotz der geringen effektiven Porosität wird bei der für Tongestein abgeschätzten geringen Permeabilität eine hinreichend geringe Abstandsgeschwindigkeit erreicht, so dass die Bewertung als ‘günstig’ eingestuft werden kann.“
- In /U1/ auf S. 28 zweiter Absatz letzte Zeile wird beschrieben, dass die durchflusswirksame (nutzbare bzw. effektive) Porosität n_e mit der absoluten Porosität (Gesamtporenraum) aus Tabelle 11 gleichgesetzt wird. Aufgrund der geringen Porengröße in Tongestein ist die effektive Porosität jedoch deutlich kleiner als die absolute Porosität (siehe Abb. 1). Nach Busch et al. (1994) /U18/ „blockiert“ Haftwasser (Retentions- bzw. Adsorptions- und Adhäsionswasser) Poren bis zu einem Durchmesser von $d \approx 1 \mu m$ (0,001 mm). Typische Korndurchmesser in Tongestein sind $<0,002$ mm. In der Regel ist

der Porenraum zwischen den Tonmineralen deutlich kleiner als der Korndurchmesser (Busch et al. 1994). Durch die zunehmende Kompaktion während der Diagenese nimmt die absolute Porosität von Ton $n = 0,55 [-]$, im Fall des Opalinustons auf $n \approx 0,14 [-]$ (van Loos und Soler 2003) /U19/ um das 4-fach ab. Übertragen auf die effektive Porosität n_e , die nach Mattheß & Ubell (1981) /U20/ für Ton mit $n_e < 0,06 [-]$ angegeben wird, sollte die effektive Porosität n_e von Tongestein bei $n_e < 0,015 [-]$ liegen (jedoch nicht größer sein als für Ton, Abb. 1). Da die effektive Porosität n_e im Nenner steht, wird die Abstandsgeschwindigkeit v_a um mindestens das Vierfache unterschätzt.

$$v_a = \frac{k_f \cdot i}{n_e} \quad \left[\frac{m}{s} \right]$$

mit

v_a = Abstandsgeschwindigkeit [m/s]

i = hydraulischer Gradient [-]

k_f = Gebirgsdurchlässigkeit [m/s]

n_e = effektive Porosität [-]

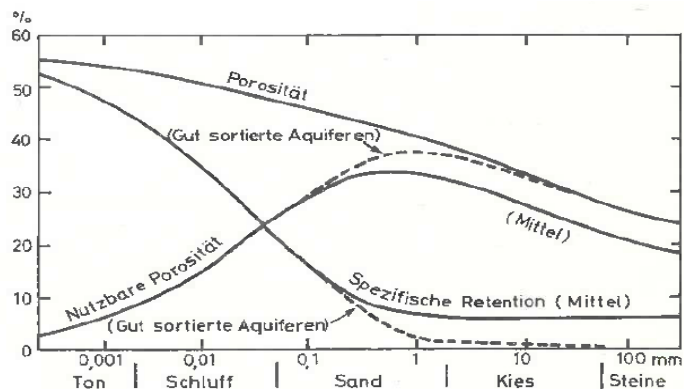


Abb. 1: Nutzbarer (effektiver, durchflusswirksamer) Porenraum und der absolute (Gesamtporenraum für verschiedene klastische Sedimente (aus Mattheß & Ubell 1981)

Zu /U1/ Kap. 5 Referenzdatensatz für Kristallingestein

Erste Prüfung der Ausführungen zum **Referenzdatensatz für Kristallingestein in Kapitel 5.1.2**

Charakteristische Gebirgsdurchlässigkeit:

Vorbemerkungen

- Aus Untersuchungen in kristallinem Festgestein ist bekannt, dass die Gebirgsdurchlässigkeit aufgrund einer erratischen Verteilung von Klüften räumlich stark variiert. Gustafson und Fransson (2005) /U21/ haben eine statistische Verteilungsfunktion der Gebirgsdurchlässigkeit in einem Bohrloch auf Basis des Pareto-Modellansatzes erarbeitet. Kern Ihrer Arbeit ist, dass die Trennfläche mit der größten Transmissivität in der Größenordnung der Gesamtbohrlochtransmissivität liegt.
- Nach Stober (2012) /U23/ haben Untersuchungen an der Bohrung Urach 3 eine lineare Abnahme der Gebirgsdurchlässigkeit von $2 \cdot 10^{-7}$ m/s auf $1 \cdot 10^{-10}$ m/s von etwa 200 m unter Kristallin-Oberfläche bis auf etwa 2200 m unter Kristallin-Oberfläche ergeben.
- Zahlreiche Durchlässigkeitsversuche in Skandinavien (SKB Schweden und Posiva Finnland) zeigen, dass die Gebirgsdurchlässigkeit ab einer Tiefe von etwa 200 m deutlich kleiner sind als 10^{-10} m/s – zum Teil über 100 m lange Bohrabschnitte (OL-KR31; Posiva Finnland).

Formale Prüfung

- Auf S. 64 letzter Absatz. Angabe der Einheiten zum Parameter Fluidichte ρ ist nicht $[m/s^2]$ sondern $[kg/m^3]$.

- In der Praxis wird der hydraulische Gradient mit i für h/l verwendet, um eine Konsistenz mit dem Kapitel 5.1.3 Abstandsgeschwindigkeit v_a zu erreichen, sollte der hydraulische Gradient i in Kapitel 5.1.2 Charakteristische Gebirgsdurchlässigkeit eingeführt werden.
- Die Literaturangaben wurden auf Vollständigkeit geprüft.

Inhaltliche Prüfung

- Eine erste Sichtung zeigt, dass der einleitende Text praktisch identisch ist mit dem Text zum Wirtsgestein „Tongestein“, auf Eigenarten der Durchlässigkeitsermittlung im Kristallingestein wird hier nicht eingegangen.
- Im Fall des Wirtsgesteins Kristallin wird fast nur Sekundärliteratur herangezogen, d.h. Autoren zitiert, die wiederum Durchlässigkeitsbeiwerte aus anderen Quellen zusammengestellt haben. Es wird nicht beschrieben, ob die Datensätze auf Doppelnennungen geprüft wurden. Es fehlen außerdem Aussagen zu Testtypen, Auswertungsmethode und Fehlerbetrachtung.
- Die Ausführungen über die Schwierigkeit „allgemein gültige Aussagen über die Gebirgsdurchlässigkeit zu treffen“ werden sehr allgemein behandelt. Neuere Arbeiten zur Charakterisierung der Durchlässigkeit in kristallinen Gesteinen z.B. von Gustafson und Fransson (2005) /U21/ werden nicht zitiert.
- Untersuchungen der Durchlässigkeitsverteilung im Kristallingestein zeigen, dass die Durchlässigkeit fast nur von wenigen diskreten Klüften dominiert wird (Gustafson und Fransson 2005) /U21/. Eine Diskussion darüber, ob eine statistische Gesetzmäßigkeit wie das „Darcy-Gesetz“ anwendbar ist, sollte an dieser Stelle erfolgen.
- Die auf Seite 66 /U1/ dargestellten Situationen der Gebirgsdurchlässigkeit im Kristallingestein zeigen nicht welche Methoden/Randbedingungen für die Auswertung verwendet wurden und wie groß die Bestimmungsfehler (Messfehler und Fehler der Modellanpassung) sind. Diese Angaben sind für die Bewertung der ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerten k notwendig, weil es sich nicht um einen Messwert, sondern um interpretierte Daten handelt.
- Die Abschätzung der Durchlässigkeit einer diskreten Kluft k auf der Basis des „cubic law“ nach Louis (1967, Gl. 1) /U22/ scheint für die Ermittlung der Gebirgsdurchlässigkeit eine sinnvolle Alternative zum Darcy-Ansatz (Gl. 2):

$$k = \frac{\rho \cdot g \cdot w^2}{12 \cdot \mu} \quad \left[\frac{kg \cdot m \cdot m^2 \cdot m \cdot s}{m^3 \cdot s^2 \cdot kg} \right] = \left[\frac{m}{s} \right] \quad Gl. 1$$

mit

k = Durchlässigkeitsbeiwert einer Kluft [m/s]

ρ = Dichte des Fluids [kg/m³]

g = Erdbeschleunigung [m/s²]

μ = dynamische Viskosität [kg/s/m]

w = Kluftapertur [m]

$$k = \frac{T}{l} \quad \left[\frac{m^2}{s \cdot m} \right] = \left[\frac{m}{s} \right] \quad \text{Gl. 2}$$

mit

T = Transmissivität des Testintervalls [m²/s]

k = gemittelter Durchlässigkeitsbeiwert des Testintervalls [m/s]

l = Länge des Testintervalls [m]

Erste Prüfung der Ausführungen zum **Referenzdatensatz für Kristallingestein in Kapitel 5.1.3**

Abstandsgeschwindigkeit v_a:

Inhaltliche Prüfung

- Eine erste Sichtung zeigt, dass der einleitende Text praktisch identisch ist mit dem Text zum Wirtsgestein „Tonstein“, auf Eigenarten bei der Ermittlung der Abstandsgeschwindigkeit im Kristallingestein wird nicht eingegangen.
- Untersuchungen der Durchlässigkeitsverteilung im Kristallingestein zeigen, dass die Durchlässigkeit nahezu ausschließlich von wenigen diskreten Klüften dominiert wird (Gustafson und Franson 2005, /U21/). Eine Diskussion darüber, ob eine statistische Gesetzmäßigkeit wie das „Darcy-Gesetz“ anwendbar ist, sollte an dieser Stelle erfolgen.

Die Abstandsgeschwindigkeit v in kristallinen Kluftgrundwasserleiter kann nach Louis (1967) /U22/ für diskrete Klüfte auf der Basis des „cubic law“ mit nachfolgender Gleichung (Gl. 3) abgeschätzt werden.

$$v = \frac{\rho \cdot g \cdot w^2 \cdot i}{12 \cdot \mu} \quad \left[\frac{kg \cdot m \cdot m^2 \cdot m \cdot s}{m^3 \cdot s^2 \cdot kg} \right] = \left[\frac{m}{s} \right] \quad \text{Gl. 3}$$

mit

v = Fließgeschwindigkeit in der Kluft [m/s]

i = hydraulischer Gradient $\Delta h / \Delta x$ [-]

ρ = Dichte des Fluids [kg/m³]

g = Erdbeschleunigung [m/s²]

μ = dynamische Viskosität [kg/s/m]

w = Kluftapertur [m]

- Die Abschätzung der Abstandsgeschwindigkeit v_D auf der Basis des Darcy-Gesetzes (Gl. 4) ist vor allem problematisch, weil die effektive Porosität n_e aus der Kluftapertur abgeleitet werden muss¹. Letzteres führt zu extrem kleinen effektiven Porositäten, die wiederum zu extrem großen Abstandsgeschwindigkeiten führen. Andersherum führen die von der BGE angegebenen effektiven Porositäten n_e = 0,0019 bis 0,029 [-] für Kristallingesteine, die etwa der Kluftapertur entsprechen, nach dem „cubic law“ (Gl. 4) zu deutlich größeren Durchlässigkeitsbeiwerten, als die Mindestanforderung mit k = <10⁻¹⁰ m/s fordert.

¹ Nach dem „cubic law“ erreicht eine einzelne Kluft eine Durchlässigkeit von k = 10⁻¹⁰ m/s bei einer Apertur w von 0,0115 μ m.

$$v_D = \frac{k \cdot i}{n_e} \left[\frac{m}{s} \right] \quad \text{Gl. 4}$$

mit

v_D = Fließgeschwindigkeit in der Kluft [m/s]

i = hydraulischer Gradient $\Delta h/\Delta x$ [-]

n_e = effektive Porosität [-]

Zu /U1/ Kap. 6 Referenzdatensatz für Steinsalz

Vorbemerkung

BGE schreibt: „Es wird daher in der Phase I Schritt 1 sehr vereinfachend angenommen, dass das Endlager in jedem identifizierten Gebiet im Steinsalz in einem Bereich von möglichst reinem, homogenen Steinsalz realisiert werden kann. Dementsprechend bezieht sich der Referenzdatensatz Steinsalz auf reines, homogenes Steinsalz und es erfolgt keine Differenzierung von Steinsalz in steiler Lagerung und stratiformem Steinsalz“.

Diesem Ansatz ist entgegenzuhalten, dass Steinsalz in steiler Lagerung und Steinsalz in flacher Lagerung sich jedoch in mehreren Punkten erheblich unterscheiden. Hier eine Auswahl wesentlicher Unterschiede (eine umfassendere Bewertung steht noch aus):

- Bei Steinsalz in flacher Lagerung sind deutlich höhere Fluidgehalte zu erwarten, da diese nicht wie in der steilen Lagerung im Zuge des Salzaufstieges „abgepresst“ wurden und i.d.R. noch „in situ“ vorliegen.
- Bei Steinsalz in flacher Lagerung ist grundsätzlich davon auszugehen, dass die Steinsalzlagen häufiger von eher zusammenhängenden Lagen anderer Gesteine wie Anhydrit oder Tongestein durchsetzt sind.
- Im Steinsalz in der steilen Lagerung findet man eher größere homogene Steinsalzbereiche. Die Homogenität ist bedingt durch die mit dem Salzaufstieg verbundene Aufarbeitung des Steinsalzes als „Salztektonische Brekzie“.

Erste Prüfung der Ausführungen zum Referenzdatensatz für Steinsalz in Kapitel 6.1.2

Charakteristische Gebirgsdurchlässigkeit:

Vorbemerkung

- Aus Untersuchungen im Steinsalz auf Kristallkornebene ist bekannt, dass sich unter atmosphärischen Druck- und Temperaturbedingungen wässrige Lösung bevorzugt in den Kornecken sammelt, d.h. unter diesen Bedingungen ist im spannungsfreien Raum kein zusammenhängender Porenraum vorhanden.
- Neben den interkristallinen Fluiden gibt es zahlreiche intrakristalline Fluideinschlüsse „fluid inclusions“, die bei steigender Temperatur aus den Kristallen in Richtung Korngrenzen wandern und den interkristallinen Fluidanteil z.T. deutlich erhöhen.
- Es gibt Hinweise aus Labor- und Feldversuchen, dass sich selbst bei geringen Mengen ab 2 Vol.% wässriger Lösung im Steinsalz bei Drücken von 25 MPa – entspricht etwa 1000 m Tiefe - und etwa 200°C ein zusammenhängendes Netz von Kanälen zwischen den

Kornkanten der Salzkörner ausgebildet. Dieses Phänomen wird als „statische Perkolation“ beschrieben. Sollte sich ein zusammenhängendes Netzwerk von fluidgefüllten Kanälen ausbilden, kann es zu einer deutlichen Vergrößerung der Durchlässigkeit kommen, durch die sowohl der advektiv- als auch der diffusionsgetriebene Transport begünstigt wird.

Formale Prüfung

- Auf S. 102 letzter Absatz. Angabe der Einheiten zum Parameter Fluidichte ρ ist nicht $[m/s^2]$ sondern $[kg/m^3]$.
- In der Praxis wird der hydraulische Gradient mit i für h/l verwendet, um eine Konsistenz mit dem Kapitel 6.1.3 Abstandsgeschwindigkeit v_a zu erreichen, sollte der hydraulische Gradient i in Kapitel 6.1.2 Charakteristische Gebirgsdurchlässigkeit eingeführt werden.

Inhaltliche Prüfung

- Eine erste Sichtung zeigt, dass der einleitende Text praktisch identisch ist mit dem Text zum Wirtsgestein „Tongestein“, auf Eigenarten bei der Durchlässigkeitsermittlung im Salzgestein wird nicht eingegangen.
- Die Angaben zur Gebirgsdurchlässigkeit und Porosität beruhen auf zwei Literaturzitate, dies erscheint unzureichend und der zu bearbeitenden Fragestellung nicht angemessen.
- Testfluid: Da in Salz auch Salzwasser als Testfluid aufwändig zu handhaben ist, wird für hydraulische Tests ein gasförmiges Fluid z.B. N_2 verwendet. Insbesondere bei sehr geringer Permeabilität wurde u.a. von Engelhardt und Tunn 1954 /U15/ gezeigt, dass für Luft und organische Fluide wie Tetrachlorkohlenstoff das Darcy-Gesetz auch im prälinearen Bereich gilt, für Wasser bzw. Salzwasser jedoch nicht.

Erste Prüfung der Ausführungen zum **Referenzdatensatz für Steinsalz in Kapitel 6.1.3**

Abstandsgeschwindigkeit v_a :

Formale Prüfung

- In der Praxis wird der hydraulische Gradient mit i für h/l verwendet, um eine Konsistenz mit dem Kapitel 6.1.3 Abstandsgeschwindigkeit v_a zu erreichen, sollte der hydraulische Gradient i in Kapitel 6.1.2 Charakteristische Gebirgsdurchlässigkeit eingeführt werden.

Inhaltliche Prüfung

- Eine erste Sichtung zeigt, dass der einleitende Text praktisch identisch ist mit dem Text zum Wirtsgestein „Tongestein“, auf Eigenarten der Durchlässigkeitsermittlung im Salzgestein wird nicht eingegangen.
- Die Angaben zur Gebirgsdurchlässigkeit und Porosität beruhen auf zwei Literaturzitate, dies erscheint unzureichend und der zu bearbeitenden Fragestellung nicht angemessen.
- Testfluid: Da in Salz auch Salzwasser als Testfluid aufwändig zu handhaben ist, wird für hydraulische Tests ein gasförmiges Fluide z.B. N_2 verwendet. Insbesondere bei sehr geringer Permeabilität wurde u.a. von Engelhardt und Tunn 1954 /U15/ gezeigt, dass für Luft und organische Fluide wie Tetrachlorkohlenstoff das Darcy-Gesetz auch im prälinearen Bereich gilt, für Wasser bzw. Salzwasser jedoch nicht.

Erste Prüfung der Ausführungen zum **Referenzdatensatz für Steinsalz in Kapitel 6.1.4** **Charakteristischer effektiver Diffusionskoeffizient:**

Inhaltliche Prüfung

- Auf S. 106 erster Absatz wird konstatiert, dass „*prinzipiell keine Grundwasserströmung statt (findet) und einzig diffusiver Stofftransport, mit entsprechend geringen Transportmengen*“ möglich ist. Hier fehlt eine Literaturangabe, die dies bestätigt.
 - Auf S. 108 dritter Absatz wird konstatiert, dass die Ermittlung der Diffusionsgeschwindigkeit mit tritiiertem Wasser HTO (H=Wasserstoff, T=Tritium, O=Sauerstoff) nicht möglich ist, weil es sofort zu Lösung von Salz kommt.
1. Frage hierzu: Warum kann dafür keine gesättigte Salzlösung verwendet werden?
 2. Frage: Könnte nicht H₂-Gas (HT-Gas) für die Messung verwendet werden?

Zu Anlage 5 (zu § 24 Absatz 4): Kriterium zur Bewertung der günstigen gebirgsmechanischen Eigenschaften

Plausibilitätsprüfung

Im Standortauswahlgesetz wird in Anl. 5 für die Bewertung der „günstigen gebirgsmechanischen Eigenschaften“ das Kriterium mit zwei Indikatoren genannt:

- Die Neigung zur Ausbildung mechanisch induzierter Sekundärpermeabilitäten im einschlusswirksamen Gebirgsbereich soll außerhalb einer konturnahen, entfestigten Auflockerungszone um die Endlagerhöhlräume möglichst gering sein
 - das Gebirge kann als geomechanisches Haupttragelement die Beanspruchung aus Auffahrung und Betrieb ohne planmäßigen, tragenden Ausbau, abgesehen von einer Kontursicherung, bei verträglichen Deformationen aufnehmen
 - um Endlagerhöhlräume sind keine mechanisch bedingten Sekundärpermeabilitäten außerhalb einer unvermeidbaren konturnah entfestigten Auflockerungszone zu erwarten

Im StandAG sind keine Wertungsgruppen für die Indikatoren angegeben, deshalb erfolgt die Bewertung entweder als „günstig“ oder „nicht günstig“ (/U5/, Kap. 7.5.2, S. 93)

Laut /U5/, Kap. 7.5.2, S. 93 liegen detaillierte Daten zur Bewertung des Kriteriums noch nicht vor und es sind detailliertere Betrachtungen mit numerischen Berechnungen notwendig. Deshalb erfolgt nur eine grobe Einschätzung des Kriteriums.

Die Gutachten /U11/ und /U12/ führen die Bewertung des Kriteriums mithilfe zweier Diagramme – a) für gering bis nicht kriechfähige Gesteine und b) für ausgeprägt kriechfähige Gesteine - auf die Teufenlage des Endlagers und die Gebirgsdruckfestigkeit zurück.

Für die Gebirgsdruckfestigkeiten werden wirtsgesteinsspezifische Referenzwerte (Gesteinsfestigkeiten) verwendet.

Da die Gebirgsdruckfestigkeiten in den meisten Fällen nicht vorliegen, wird die einaxiale Gesteinsdruckfestigkeit herangezogen (/U1/, Kap. 4.2.2, S. 35). „Für ein homogenes, undeutlich geschichtetes, wenig geklüftetes Gebirge, in dem u. a. Tonsteine eingeordnet

werden, wird für die Gebirgsdruckfestigkeit ein Wert von 40 – 60 % der Gesteinsfestigkeit angenommen (Prinz & Strauß 2011, S. 63).“ (/U1/, Kap. 4.2.2, S. 36)

Die Bewertung erfolgte auf Basis der Diagramme aus /U12/ für Festgesteine mit nicht bis gering kriechfähigem (duktilen) Materialverhalten und für Festgesteine mit ausgeprägt kriechfähigem (duktilen) Materialverhalten.

Indikator „Ausbau“:

Im Projekt RESUS² wurden generische Sicherheitsstudien für Endlager in den verschiedenen Wirtsgesteinen durchgeführt. Die Studien kommen zu dem Ergebnis, dass bei einem Endlager im **Tongestein** ein tragender Ausbau errichtet werden muss (/U7/, S. 153). Der Indikator ist dementsprechend mit „**nicht günstig**“ zu bewerten.

Im **Kristallingestein** hängen die gebirgsmechanischen Eigenschaften von der Klüftigkeit des Gebirges ab und die Hohlraumstabilität kann gering bis hoch sein. Wenn davon ausgegangen wird, dass für einen Endlagerbereich ein gering geklüftetes Gebirge gefunden wird, ist dort kein Ausbau notwendig.

Für **Steinsalz** wird aus den Gutachten /U11/ und /U12/ für den AkEnd und aus empirischen Erfahrungen abgeleitet, dass in allen relevanten Teufen grundsätzlich günstige gebirgsmechanische Voraussetzungen zu erwarten sind.

Indikator „Sekundärpermeabilität“:

Basierend auf den Sicherheitsuntersuchungen zu Tongesteinsformationen größerer Mächtigkeit (T1) im Projekt RESUS /U7/ und /U10/ können konturferne Sekundärpermeabilitäten nicht ausgeschlossen werden, so dass der Indikator 2 (Sekundärpermeabilität) für **Tongestein** als „**nicht günstig**“ bewertet wird.

Zusammenfassung:

„Der AkEnd weist darauf hin, dass die beiden Indikatoren des Kriteriums aus gebirgsmechanischer Sicht zusammengefasst betrachtet werden können, da bei hinreichender Tragfähigkeit des Gebirges (Gebirge = Haupttragelement) auch nur in begrenztem Maß Konturentfestigungen und Konturauflockerungen zu erwarten sind.“ (/U7/, /U8/ und /U9/)

Der zweite Indikator dieses Kriteriums (Sekundärpermeabilität) wird deshalb nur sehr kurz abgehandelt.

Das Ergebnis der Anwendung des Kriteriums der günstigen gebirgsmechanischen Eigenschaften ist für Tongestein „nicht günstig“, Kristallingestein „günstig“ und für Salzgestein „günstig“.

² „Grundlagenentwicklung für repräsentative vorläufige Sicherheitsuntersuchungen und zur sicherheitsgerichteten Abwägung von Teilgebieten mit besonders günstigen geologischen Voraussetzungen für die sichere Endlagerung hochradioaktiver Abfälle“ (RESUS). GRS Bericht: GRS – 572 ISBN 978-3-947685-58-5

Ergebnis der Plausibilitätsprüfung / Fazit:

- Dieses Abwägungskriterium wird auf der Grundlage von Sicherheitsuntersuchungen und Erfahrungen bewertet. Die Bewertung der günstigen gebirgsmechanischen Eigenschaften soll grundsätzlich mithilfe der im Auftrag des AkEnd in den Gutachten /U11/ und /U12/ entwickelten Methode erfolgen.
- Das Ergebnis wird plausibel dargestellt und ist fachlich nachvollziehbar.
- Die Auswertung des Kriteriums erfolgte nicht standortspezifisch, sondern auf der Grundlage von Untersuchungen und Erfahrungen mit den einzelnen Wirtsgesteinen. Das gebirgsmechanische Verhalten der Gesteine ist aber stark von der Ausprägung ihrer Eigenschaften abhängig, z.B. von der Verfestigung der Tongesteine oder der Klüftigkeit des Kristallingesteins. Eine Bewertung der gebirgsmechanischen Eigenschaften muss deshalb in den nächsten Auswahlschritten standortspezifisch mit Würdigung der lokalen Gegebenheiten erfolgen.
- Die Gutachten /U11/ und /U12/ stellen eine sinnvolle und in den kommenden Auswahlschritten anwendbare Methode für die Bewertung der gebirgsmechanischen Eigenschaften dar. Seit Erstellung der Gutachten gab es allerdings umfangreiche Weiterentwicklungen auf dem Gebiet der Stoffgesetze und der Modellierung des mechanischen Verhaltens von Gesteinen, insbesondere von Tongesteinen. Vor Anwendung der Methode in den nächsten Auswahlschritten sollten die Methode und die Ergebnisse überarbeitet und an den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik angepasst werden.

Zu Anlage 7 (zu § 24 Absatz 5): Kriterium zur Bewertung der Gasbildung

Die Bewertung des Abwägungskriteriums „Gasbildung“ erfolgt anhand des Indikators „Wasserangebot im Einlagerungsbereich“ (Tab. 1). Aufgrund nur vereinzelt vorliegender gebietsspezifischer Daten wendet die BGE dieses Abwägungskriterium im derzeitigen Verfahrensschritt für alle Wirtsgesteinstypen anhand von Referenzdatensätzen an. Im Ergebnis werden alle drei Wirtsgesteinstypen mit „günstig“ (=trocken) bewertet.

Tab. 1: Bewertungsrahmen für das Abwägungskriterium "Gasbildung" laut StandAG /U4/, Anlage 7 (zu § 24 Absatz 5)

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße beziehungsweise Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Gasbildung	Wasserangebot im Einlagerungsbereich	trocken	feucht und dicht (Gebirgsdurchlässigkeit < 10 ⁻¹¹ m/s)	feucht

Hinweise:

- Definition der Begriffe „trocken“ und „feucht“

Die Einordnung in die Wertungsgruppen bezüglich des Abwägungskriteriums „Gasbildung“ soll nach StandAG i.W. anhand der Begriffe „trocken“ und „feucht“ erfolgen (vgl. Tab. 1). In der „Arbeitshilfe“ /U5/ wird auf S. 104 daher zunächst zu Recht festgestellt, dass *„zur Anwendung des Indikators [...] die Begriffe „trocken“ und „feucht“ definiert werden [müssen]“*, zu denen im StandAG keine quantitativen Angaben gemacht werden. Nachfolgend wird auf eine Begriffsdefinition der AkEnd (2002) verwiesen, nach der ein Gestein *„als „feucht“ [gilt], wenn die zur Korrosion erforderliche Feuchtigkeit präsent ist, andernfalls gilt das Gestein als „trocken“.“* Zu dieser Definition merkt die BGE an, dass daraus nicht hervorgeht wie die *„zur Korrosion erforderliche Feuchtigkeit“* definiert ist, und argumentiert, dass dies *„erst mit der standortspezifischen Festlegung der Materialien der technischen Barrieren und detaillierter Analyse der Wechselwirkung mit den geotechnischen und geologischen Barrieren quantifiziert werden [kann]“* (/U5/, S. 105).

Im Ergebnis legt die BGE also keine Definition/Interpretation für „trocken“ und „feucht“ vor, obwohl diese Begriffe für die Anwendung des Kriteriums maßgeblich sind.

Die Argumentation der BGE, dass die zur Korrosion erforderliche Feuchtigkeit *„erst mit der standortspezifischen Festlegung der Materialien der technischen Barrieren und detaillierter Analyse der Wechselwirkung mit den geotechnischen und geologischen Barrieren quantifiziert werden [kann]“* (/U5/, S. 105) wirft die Frage auf, ob dies impliziert, dass dieses Abwägungskriterium im jetzigen Verfahrensschritt de facto keine Anwendung findet, sondern alle Wirtsgesteinstypen ungeachtet der in den Referenzdatensätzen zusammengetragenen Informationen zum Wassergehalt als „günstig“ (=trocken) eingestuft werden. Des Weiteren stellt sich die Frage zu welchem Zeitpunkt im Verfahren die o.g. Informationen zu den „standortspezifischen Materialien der technischen Barrieren“ und deren „Wechselwirkung mit den geotechnischen und geologischen Barrieren“ vorliegen werden.

- Bewertung von Steinsalz

In der Unterlage /U1/ („Referenzdatensätze“) werden Literaturangaben zum Wassergehalt von Steinsalz zusammengetragen. Diese liegen im Bereich von <1 bis 3 % (/U1/, S. 118). Auf Basis dieser Daten trifft die BGE die Aussage, dass Steinsalz generell *„als trocken zu betrachten [sei]“* (/U2/, S. 93).

Diese Einschätzung ist plausibel.

- Bewertung von Tongestein

In /U1/ („Referenzdatensätze“) werden Literaturangaben zum Wassergehalt von Tongesteinen zusammengetragen. Diese liegen im Bereich von <1 bis 70 % (/U1/, S. 46-47). Auf Basis dieser Daten trifft die BGE zunächst die Aussage, dass „*Tongesteine als „feucht“ einzustufen [sind]*“ (/U2/, S. 79); trotzdem wird Tongestein im Ergebnis mit „günstig“ (=trocken) bewertet (/U2/, S. 79). Diese günstige Bewertung wird damit begründet, dass die Feuchtigkeit in Tongesteinen von „*standortspezifischen Parametern*“ abhängt, sowie, dass zum jetzigen Zeitpunkt „*keine detaillierten Informationen über den Wassergehalt der identifizierten Gebiete*“ und die „*Materialien der technischen Barriere*“ vorlägen. (/U2/, S. 79)

Die Entscheidung der BGE, Tongesteine als „trocken“ zu bewerten, ist für uns nicht nachvollziehbar. Die im Referenzdatensatz für Tongestein zusammengetragenen Informationen zeigen Wassergehalte von <1 bis 70 %. Selbst wenn man berücksichtigt, dass die BGE für die Referenzdatensätze bewusst eine Bewertung im oberen Bereich (75- bis 90%-Perzentil) der physikalisch möglichen Bandbreite vornimmt (/U5/, S. 16), ergeben sich anzusetzende Wassergehalte von ca. 5 – 10%. Der Schlussfolgerung, bei solchen Wassergehalten von einem „trockenen“ Gestein zu sprechen ist deutlich zu widersprechen. Da die Anwesenheit von Feuchtigkeit charakteristisch für Tongestein ist, ist es unzulässig Tongestein bezüglich des Indikators „Wasserangebot im Einlagerungsbereich“ mit „trocken“ zu bewerten.

- Bewertung von Kristallingestein

In der Unterlage /U1/ („Referenzdatensätze“) werden Literaturangaben zum Wassergehalt bzw. der Wasserführung von Kristallingestein zusammengetragen. Es wird festgestellt, dass aufgrund der in Kristallingesteinen häufig auftretenden Kluftsysteme die Wassergehalte stark variieren können, und dass die Erfahrungen aus den Felslaboren in der Schweiz und Skandinavien darauf hindeuten, „*dass Einlagerungsbereiche im Kristallin potenziell „feucht“ sind und dass auch die zur Korrosion erforderliche Feuchtigkeit potentiell erfüllt werden kann*“ (/U1/, S. 87). Mit Verweis darauf, dass die BGE im Referenzdatensatz für Kristallingestein jedoch „*von einer ungestörten und ungeklüfteten Gesteinsformation³ [ausgeht]*“ (/U1/, S. 87) wird Kristallingestein im Ergebnis als „günstig“ (=trocken) bewertet.

Die Entscheidung der BGE, Kristallingestein als „trocken“ zu bewerten ist zwar vor dem Hintergrund, dass die BGE in den Referenzdatensätzen bewusst günstige Bedingungen unterstellt (ungestört und ungeklüftet) grundsätzlich nachvollziehbar, da die Wassergehalte innerhalb von ungeklüfteten Bereichen im Kristallingestein tatsächlich sehr gering sind. Dennoch sollten die Referenzdatensätze die charakteristischen und

³ vgl. auch /U1/ Kapitel 3 (Methodik zur Erstellung von Referenzdatensätzen): „Für Kristallingestein wird davon ausgegangen, dass trotz seiner häufig vorhandenen Klüftung, Bereiche geringerer Durchlässigkeit und ausreichender Größe, vorhanden sind.“

erwartbaren Eigenschaften der unterschiedlichen Wirtsgesteinstypen widerspiegeln. Daher sind wasserführende Klüfte als charakteristisch für Kristallingesteine anzunehmen. Die Entscheidung der BGE, Kristallingestein bezüglich des Indikators „Wasserangebot im Einlagerungsbereich“ mit „trocken“ zu bewerten ist daher diskussionswürdig.

Weitere Anmerkungen:

- In der Unterlage /U1/ („Referenzdatensätze“) sind die Tabellen 40 (S. 86) und 57 (S. 118) fehlerhaft. Der Eintrag in der untersten Zeile der Wertungsgruppe „weniger günstig“ muss in beiden Tabellen „feucht“ lauten; nicht „Gasbildung“.

Zu Anlage 9 (zu § 24 Absatz 5): Kriterium zur Bewertung des Rückhaltevermögens im einschlusswirksamen Gebirgsbereich

Die Bewertung des Abwägungskriteriums „Rückhaltevermögen im ewG“ erfolgt anhand von vier Indikatoren:

- Sorptionsvermögen (K_d -Wert)
- Gehalt an Mineralphasen mit großer reaktiver Oberfläche
- Ionenstärke des Grundwassers
- Öffnungsweiten von Gesteinsporen

Der Indikator „Sorptionsvermögen“ wird gemäß Anlage 9 des StandAG /U4/ mit „günstig“, „bedingt günstig“ oder „weniger günstig“ bewertet. Für die übrigen drei Indikatoren werden lediglich die Bewertungen „günstig“ oder „nicht günstig“ verwendet.

Aufgrund nur vereinzelt vorliegender gebietspezifischer Daten wendet die BGE dieses Abwägungskriterium im derzeitigen Verfahrensschritt für alle Wirtsgesteinstypen anhand von Referenzdatensätzen an.

Im Ergebnis wird Tongestein als „günstig“ bewertet; Steinsalz und Kristallingestein werden als „nicht günstig“ bewertet (Tab. 2).

Tab. 2: Bewertung der unterschiedlichen Wirtsgesteinstypen bezüglich des Abwägungskriteriums "Rückhaltevermögen"

	Sorptionsvermögen	Mineraloberfläche	Ionenstärke	Porengröße	Gesamtbewertung
Tongestein	günstig	günstig	günstig	günstig	günstig
Steinsalz	weniger günstig	nicht günstig	günstig	günstig	nicht günstig
Kristallingestein	bedingt günstig	nicht günstig	günstig	günstig	nicht günstig

Hinweise:

- Aggregation der Indikatorbewertungen zur Gesamtbewertung

In der Gesamtbewertung unterscheidet die BGE nur zwischen den Bewertungskategorien „günstig“ oder „nicht günstig“, obwohl der Indikator Sorptionsvermögen drei Wertungsgruppen aufweist („günstig“, „bedingt günstig“ und „weniger günstig“). Die BGE erläutert dieses Vorgehen in /U2/ S. 103 bzw. S. 106:

„Eine Bewertung mit „nicht günstig“ schließt beide Bewertungsoptionen „bedingt günstig“ und „weniger günstig“ mit ein, [...]“

Wir weisen darauf hin, dass durch dieses Vorgehen die im StandAG vorgesehene zusätzliche Differenzierung des Indikators Sorptionsvermögen in „bedingt günstig“ und „weniger günstig“ nicht in die Gesamtbewertung einfließt. Im Forschungsvorhaben RESUS wird alternativ dazu ein Aggregierungsverfahren empfohlen, das explizit darauf abzielt, alle Bewertungsoptionen dieses Indikators in der Gesamtbewertung zu berücksichtigen (/U13/ S. 60):

„Der Indikator 9.1a weist im StandAG entgegen den anderen Indikatoren drei Wertungsgruppen auf. Damit man die Bewertung des Indikators 9.1a in der Einzelbewertung nicht verliert, wird eine Fallunterscheidung [vgl. Tab 3.13 in /U13/] eingeführt.“

- Berücksichtigung von Abhängigkeiten zwischen Indikatoren verschiedener Abwägungskriterien

Für die Bewertung des Abwägungskriteriums „Rückhaltevermögen“ werden die o.g. vier Indikatoren herangezogen. Das Rückhaltevermögen eines Gesteins kann aber darüber hinaus von weiteren Faktoren beeinflusst werden. Insbesondere die Paläomaximaltemperatur von Tongestein stellt einen potentiell bedeutsamen Einflussfaktor dar: Eine Erwärmung von Tongestein über die Paläomaximaltemperatur hinaus kann zur Alteration organischer Substanz führen. Hierbei entstehende Kolloide können die Sorptionsfähigkeit eines Gesteins gegenüber Radionukliden erheblich verschlechtern. Deshalb ist es wichtig, das Abwägungskriterium „Rückhaltevermögen“ nicht allein stehend, sondern gekoppelt mit dem Kriterium „Temperaturverträglichkeit“ zu betrachten.

Die folgende Textpassage aus /U2/ S. 55 zeigt zwar, dass die BGE grundsätzlich beabsichtigt Kopplungen von Indikatoren bei der Anwendung der Abwägungskriterien zu berücksichtigen:

„Nach § 24 Abs. 1 StandAG ergibt sich die günstige geologische Gesamtsituation nach einer sicherheitsgerichteten Abwägung der Ergebnisse zu allen Abwägungskriterien. Dies bedeutet, dass zu jedem der elf Kriterien eine Bewertung vorliegen muss, bevor die Abwägung der Bewertungen der Kriterien zu einer zusammenfassenden Bewertung des jeweiligen identifizierten Gebietes erfolgt. Dabei wird ein verbalargumentatives Vorgehen

*angewendet (siehe BT Drs. 18/11398, S. 71). Auf Grundlage der verschiedenen Bewertungen zu den Indikatoren wird in einer geowissenschaftlichen Argumentation zu jedem Kriterium eine Bewertung für jedes identifizierte Gebiet ausgearbeitet. **Dabei werden auch die den einzelnen Indikatoren innewohnenden Kopplungen mit anderen Indikatoren des gleichen oder eines anderen Kriteriums berücksichtigt.** Diese Kopplungen variieren je Kriterium und Wirtsgestein und werden auch durch die vorhandene Datengrundlage zur Bewertung des jeweiligen Indikators und Kriteriums beeinflusst. Grundlage für die Berücksichtigung dieser Kopplungen ist ein Verständnis der Relevanz der einzelnen Indikatoren für die Sicherheit eines Endlagers für wärmeentwickelnde, hoch-radioaktive Abfälle sowie eine hohe Gebietskenntnis. Der verbalargumentative Diskurs sowie die resultierende Bewertung der Kriterien erfolgen im Bewertungsmodul.“ (/U2/ S. 55)*

Die Diskussion/Argumentation in den – derzeit für die Anwendung des Kriteriums „Rückhaltevermögen“ genutzten – Referenzdatensätzen /U1/ spiegelt jedoch den o.g. potentiellen Einfluss der Paläomaximaltemperatur auf das Rückhaltevermögen von Tongesteinen nicht wieder. (Dies mag den im aktuellen Verfahrensschritt mangelnden gebietsspezifischen Daten geschuldet sein.)

Im zukünftigen Verfahren sollte sichergestellt werden, dass bei der Bewertung des Abwägungskriteriums „Rückhaltevermögen“ Kopplungen mit dem Abwägungskriterium „Temperaturverträglichkeit“ ausreichend Berücksichtigung finden.

- Bewertung von Tongestein

Ton wird bezüglich des Indikators „Sorptionsvermögen“ mit „günstig“ bewertet. Laut StandAG /U4/ ist die Voraussetzung für eine günstige Bewertung, dass der K_d -Wert für sämtliche in Tabelle Anlage 9 StandAG aufgelisteten Radionuklide $\geq 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$ ist. Die in den Referenzdatensätzen zitierten Literaturangaben zu K_d -Werten für Jod und Chlor liegen jedoch deutlich unterhalb dieses Schwellenwerts (/U1/, S. 53-54) und stützen damit nicht die Annahme eines K_d -Werts im Ton von $\geq 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$ für Jod und Chlor. Infolgedessen hätte eine Herabwertung auf „bedingt günstig“ erfolgen müssen.

Angeichts der aktuell nur eingeschränkt vorliegenden Daten sowie der grundsätzlichen Problematik K_d -Werte, die unter bestimmten Randbedingungen experimentell ermittelt wurden, auf davon ggfs. abweichende Bedingungen zu übertragen, erscheint die getroffene Einstufung „günstig“ im jetzigen Verfahrensschritt als sehr konservativ und wäre im Folgenden zu diskutieren.

- Bewertung von Steinsalz

keine Hinweise

- Bewertung von Kristallingestein

Kristallingestein wird bezüglich des Indikators „Öffnungsweiten von Gesteinsporen“ mit „günstig“ bewertet. Diese Bewertung ist eine Konsequenz aus dem Vorgehen der BGE, Kristallingestein für den Referenzdatensatz als ungeklüftet und frei von Rissen anzunehmen (/U2/, S. 89). Mit zunehmendem Informationsgewinn im weiteren Verfahren ist aus unserer Sicht damit zu rechnen, dass Mikrorisse/Klüfte zu einer Herabwertung von Kristallingebieten bezüglich dieses Indikators führen werden.

Zu Anlage 10 (zu § 24 Absatz 5): Kriterium zur Bewertung der hydrochemischen Verhältnisse

Die Anwendung des geowissenschaftlichen Abwägungskriteriums 10 „Kriterium zur Bewertung der hydrochemischen Verhältnisse“ erfolgt gemäß StandAG (/U4/, Anlage 10) anhand von fünf Indikatoren:

1. Chemisches Gleichgewicht zwischen Wirtsgestein und Grundwasser
2. neutrale bis leicht alkalische Bedingungen (pH-Wert 7 bis 8)
3. anoxisch-reduzierendes Milieu
4. möglichst geringer Gehalt an Kolloiden und Komplexbildnern
5. geringe Karbonatkonzentration

Den Vorgaben des StandAG folgend, bewertet die BGE jeden dieser Indikatoren jeweils mit „günstig“ oder „nicht günstig“, d.h. eine weitere Differenzierung in „bedingt günstig“ oder „weniger günstig“ erfolgt nicht.

Aufgrund nur vereinzelt vorliegender gebietspezifischer Daten wendet die BGE dieses Abwägungskriterium im derzeitigen Verfahrensschritt für alle Wirtsgesteinstypen anhand von wirtsgesteinsspezifischen Referenzdatensätzen (/U1/) an.

Im Ergebnis werden Tongestein und Kristallingestein mit „günstig“ bewertet; Steinsalz wird mit „nicht günstig“ bewertet (Tab. 3).

Tab. 3: Von der BGE auf Basis der Referenzdatensätze vorgenommene Bewertung der unterschiedlichen Wirtsgesteinstypen bezüglich des Abwägungskriteriums "hydrochemische Verhältnisse" (/U2/, S. 61ff)

	Gleichgewicht	pH-Wert	Redox- bedingungen	Kolloide, Komplexbildner	Karbonat	Gesamtbewertung
Tongestein	günstig	günstig	günstig	günstig	günstig	günstig
Steinsalz	günstig	nicht günstig	günstig	günstig	günstig	nicht günstig
Kristallingestein	nicht günstig	günstig	günstig	günstig	günstig	günstig

Hinweise:**- Datengrundlage**

Die mit den einzelnen Indikatoren abgefragten Eigenschaften erfordern z.T. sehr spezifische hydrochemische Informationen, die für die identifizierten Gebiete nicht oder nur vereinzelt vorliegen. Dies trifft in besonderem Maße auf den mit dem 4. Indikator abgefragten Gehalt an Kolloiden und Komplexbildnern zu, der im Rahmen „klassischer“ Grundwasseranalysen nicht bzw. nur selten untersucht wird. Zudem erfordert die mit dem 1. Indikator abgefragte Bewertung der Gleichgewichtseinstellung zwischen Grundwasser und Wirtsgestein eine Berechnung mineralspezifischer Sättigungsindizes mit allen dafür notwendigen Informationen.

Aufgrund mangelnder Daten wendet die BGE daher dieses Abwägungskriterium im derzeitigen Verfahrensschritt für alle Wirtsgesteinstypen anhand von wirtsgesteinspezifischen Referenzdatensätzen (/U1/) an. Doch auch unter Berücksichtigung der Referenzdaten bleiben Lücken bestehen: für mehrere hydrochemische Parameter ist die zusammengestellte Datenbasis unzureichend; zum Auftreten von Komplexbildnern in Tongestein wurden gar keine Literaturangaben gefunden. Außerdem lassen sich für einige Parameter grundsätzlich keine für ein Wirtsgestein typischen Werte ableiten, da diese je nach lokalen Gegebenheiten sehr unterschiedlich ausfallen können. So sind beispielsweise Karbonatkonzentrationen im Porenwasser von Tongestein davon abhängig ob karbonatische Lagen im Tongestein eingeschaltet sind oder nicht; die hydrochemischen Verhältnisse in (geklüftetem) Kristallingestein können ggfs. stärker vom Nebengestein geprägt sein als vom Wirtsgestein selbst⁴.

Insgesamt ist daher festzuhalten, dass die Anwendung dieses Abwägungskriteriums im aktuellen Verfahrensschritt nur sehr eingeschränkt möglich ist. Die von der BGE auf Basis der Referenzdatensätze getroffenen überwiegend günstigen Indikatorenbewertungen (Tab. 3) spiegeln oftmals lediglich die Möglichkeit wider, dass diese Indikatoren unter bestimmten Gegebenheiten „günstig“ ausfallen können. Es ist davon auszugehen, dass im weiteren Standortauswahlverfahren einige dieser günstigen Bewertungen anhand von gebietsspezifischen Daten nach unten korrigiert werden.

- Bewertung von Tongestein

Ton wird in der Gesamtbewertung – und auch bezüglich jedes Einzelindikators – mit „günstig“ bewertet. Angesichts der in den Referenzdatensätzen zusammengestellten Informationen (/U1/) und der aktuell nur eingeschränkt vorliegenden gebietsspezifischen Daten, erscheint dieses konservative⁵ Vorgehen im aktuellen Verfahrensschritt plausibel. Mit zunehmendem Informationsgewinn im weiteren Verfahren ist aus unserer Sicht jedoch damit zu rechnen, dass Gebiete mit Tongestein in Abhängigkeit der lokalen

⁴ vgl. z.B. die im RESUS-Projekt /U13/ betrachteten Endlagersysteme K2 und K3

⁵ konservativ i.d.S., dass keine Gebiete fälschlicherweise aufgrund mangelnder Daten ausgeschlossen werden

Gegebenheiten insbesondere bezüglich des Indikators „Karbonatgehalt“ sowie des Indikators „Kolloide/Komplexbildner“ als „nicht günstig“ eingestuft werden müssen. Als Konsequenz würden diese Tongebiete in der Gesamtbewertung dieses Abwägungskriteriums von „günstig“ zu „nicht günstig“ abgewertet werden.

- Bewertung von Steinsalz

keine Hinweise

- Bewertung von Kristallingestein

Kristallingestein wird bezüglich des Indikators „Chemisches Gleichgewicht zwischen Wirtsgestein und Grundwasser“ mit „nicht günstig“ bewertet; die Gesamtbewertung für Kristallingestein fällt dennoch „günstig“ aus (Tab. 3). Weil Steinsalz mit ebenfalls nur einer einzigen „nicht günstigen“ Indikatorbewertung in der Gesamtbewertung als „nicht günstig“ eingestuft wird, stellt sich die Frage ob die „günstige“ Gesamtbewertung von Kristallingestein gerechtfertigt ist. Wir weisen in diesem Zusammenhang auf die Ergebnisse des Forschungsvorhabens RESUS (/U13/) hin, in dem für das Abwägungskriterium „hydrochemische Verhältnisse“ ein vom Vorgehen der BGE abweichendes Aggregierungsverfahren empfohlen wird, das eine „nicht günstige“ Gesamtbewertung vorsieht, sobald die Bewertung eines einzigen beliebigen Indikators „nicht günstig“ ausfällt (d.h. Kristallingestein würde damit bezüglich der hydrochemischen Verhältnisse insgesamt als „nicht günstig“ eingestuft werden).

Die BGE begründet ihr Vorgehen Kristallingestein trotz einer „nicht günstigen“ Indikatorbewertung in der Gesamtbewertung als „günstig“ einzustufen verbal-argumentativ in /U2/, S. 103: *„Der Indikator „Chemisches Gleichgewicht [...]“ wird für kristallines Wirtsgestein in der Regel nicht erfüllt. Die Lösungsraten sind für die typischen Minerale des granitischen Grundgebirges jedoch sehr gering. Die Langzeitsicherheit des Endlagersystems wird daher vermutlich nicht durch Lösungsprozesse des Wirtsgesteins gefährdet.“* Diese Argumentation ist zwar grundsätzlich nachvollziehbar, und das Vorgehen der BGE im jetzigen Verfahrensschritt damit plausibel; jedoch sollte dieser Aspekt im weiteren Verfahren vertieft betrachtet werden. Spätestens sobald gebiets-spezifische chemische Daten für betroffene Kristallingebiete vorliegen, sollte im Einzelfall geprüft werden, welche Konsequenzen ein ggfs. vorliegendes Ungleichgewicht zwischen Grundwasser und Wirtsgestein hätte und ob vor diesem Hintergrund eine „günstige“ Gesamtbewertung bezüglich der hydrochemischen Verhältnisse noch zutreffend ist oder nicht. Mögliche Konsequenzen eines Ungleichgewichts zwischen Grundwasser und Wirtsgestein umfassen z.B. die Bildung von zusätzlichem Hohlraum im Wirtsgestein oder die durch den Lösungsprozess hervorgerufene Veränderung der chemischen Zusammensetzung des Grundwassers.

Zu Anlage 11 (zu § 24 Absatz 5): Kriterium zur Bewertung des Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge

Im Rahmen der Auftaktveranstaltung am 17.10. 2020 hat die BGE zu den Begriffen Deckgebirge und Überdeckung festgestellt: *ein Teil des Wirtsgesteins ist auch **Deckgebirge** (oberhalb des ewG), **Überdeckung** betrifft nur das Überlagernde des Wirtsgesteins.*

Diese Herleitung ist nicht nachvollziehbar und findet sich so auch im Standortauswahlgesetz nicht wieder.

Im StandAG heißt es zu Anlage 11:

„Das Deckgebirge soll durch seine Mächtigkeit sowie seinen strukturellen Aufbau und seine Zusammensetzung möglichst langfristig zum Schutz des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs gegen direkte oder indirekte Auswirkungen exogener Vorgänge beitragen. Indikatoren hierfür sind die Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasser- und erosionshemmenden Gesteinen und deren Verbreitung und Mächtigkeit im Deckgebirge sowie das Fehlen von strukturellen Komplikationen im Deckgebirge, aus denen sich Beeinträchtigungen des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs ergeben können, ...“.

Es stellt sich weiterhin die Frage, wie die Auswirkungen der Eiszeiten für den Nachweiszeitraum von 1 Mio. Jahren in der verbalargumentativen Abwägung berücksichtigt wurden, wie z. B. flächendeckend vorhandene Tonschichten im Deckgebirge bewertet werden, auch wenn diese in kommenden Eiszeiten erodiert werden. Die Sicherheit sollte nach unserem Verständnis über den gesamten Nachweiszeitraum gleich betrachtet werden (keine gestufte Sicherheit).

Verwendete Unterlagen:

- /U1/ BGE (2020a): Referenzdatensätze zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im Rahmen von § 13 StandAG - Grundlagen. – Peine, 01.09.2020.
- /U2/ BGE (2020b): Teilgebiete und Anwendung - Geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG. Untersetzende Unterlage zum Zwischenbericht Teilgebiete. –Peine, 28.09.2020.
- /U3/ BGE (2020c): Zwischenbericht Teilgebiete gemäß §13 StandAG. – 444 S., Peine. 28.09.2020.
- /U4/ StandAG (2017): Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074), das zuletzt durch Artikel 247 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist
- /U5/ BGE (2020d): Arbeitshilfe zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im Rahmen von § 13 StandAG. – Peine, 03.09.2020.

- /U6/ BGE (2020e): Datenbericht Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG und geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG. Untersetzende Unterlage zum Zwischenbericht Teilgebiete. – Peine, 28.09.2020.
- /U7/ Alfarra et al. (2020a): Grundlagen zur Bewertung eines Endlagersystems in einer Tongesteinsformation größerer Mächtigkeit (T1), Ergebnisse aus dem Vorhaben RESUS. - Braunschweig, 03.04.2020.
- /U8/ Bertrams et al. (2020): Grundlagen zur Bewertung eines Endlagersystems in flach lagernden Salzformationen (S1), Ergebnisse aus dem Vorhaben RESUS. - Braunschweig, 03.04.2020.
- /U9/ Becker et al. (2020): Grundlagen zur Bewertung eines Endlagersystems in einer Kristallingesteinsformation mit mehreren einschlusswirksamen, Gebirgsbereichen (K1), Ergebnisse aus dem Vorhaben RESUS. - Braunschweig, 03.04.2020.
- /U10/ Alfarra et al. (2020b): Grundlagen zur Bewertung eines Endlagersystems in einer Tongesteinsformation geringerer Mächtigkeit (T2), Ergebnisse aus dem Vorhaben RESUS. - Braunschweig, 03.04.2020.
- /U11/ Lux, K.-H. et al. (2002): Entwicklung und Fundierung der Anforderung „Günstige gebirgsmechanische Voraussetzungen“, Teil A: Grundlegende rechnerische Untersuchungen. – Clausthal-Zellerfeld, März 2002.
- /U12/ Lux, K.-H.; Eberth, S. (2002): Entwicklung und Fundierung der Anforderung „Günstige gebirgsmechanische Voraussetzungen“, Teil B: Weiterführende laborative und rechnerische Untersuchungen. – Clausthal-Zellerfeld, Dezember 2002.
- /U13/ Mönig et al. (2020): RESUS – Empfehlungen zur sicherheitsgerichteten Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien des StandAG, Synthesebericht, August 2020
- /U14/ Theis, C.V. (1935): Relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground-water storage. - Trans. Am. Geophys. Union, pt2: S, 519-524, 3 Abb.; Richmond
- /U15/ Engelhardt, W.v. und W. Tunn (1954): Über das Strömen von Flüssigkeit durch Sandsteine. Heidelberger Beiträge zur Mineralogie und Petrographie, Bd. 4, S. 12-25 (1954).
- /U16/ Darcy (1856): Les fontaines publiques de la ville de Dijon. – VII + 647 S., Tabellen, Abbildungen; Paris (Victor Dalmont).
- /U17/ Klinge, H. und C. Neumann-Redlin (1986): Hydraulische Tests in den Sedimentgesteinen der Kreide und des Jura der Schachanlage Konrad (Salzgitter). Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Bd. 137, Teil 1, S. 157-166
- /U18/ Busch, K-F., Luckner, L. und K. Tiemer (1994): Geohydraulik. 3. neubearbeitete Auflage. Gebrüder Bornträger Berlin Stuttgart, 238 Abb. Und 50 Tafel, S.497
- /U19/ Loon, L.R. van and J.M. Soler (2003): Diffusion of HTO, ³⁶Cl⁻, ¹²⁵I⁻ and ²²Na⁺ in Opalinus Clay: Effect of confining pressure, sample orientation, sample depth and temperature. Nagra - TECHNICAL REPORT 03-07, Paul Scherrer Institut, Villigen PSI

- /U20/ Mattheß, G. und K. Ubell (1983): Allgemeine Hydrogeologie Grundwasserhaushalt. Band 1. Gebrüder Bornträger Berlin Stuttgart, 214 Abb. Und 75 Tabellen, S. 438
- /U21/ Gustafson und Fransson (2005): The use of the Pareto distribution for fracture transmissivity assessment. Hydrogeology Journal (2005)14: 15-20. DOI 10.1007/s10040-005-0440-y. Springer Verlag.
- /U22/ Louis, C. (1967): A Study of Groundwater Flow in Jointed Rock and its Influence on Stability of Rock Masses. Doctoral theses. Accepted Thesis for the acquisition of the Academic Degree of "Doktor Ingenieur" of the Faculty of Civil Engineering and Surveying of the University of (TH) Karlsruhe, S.
- /U23/ Stober, R. (2012): Hydraulische Leitfähigkeit des kristallinen Grundgebirges. Geothermie, bbr 04/2012, S. 48-53